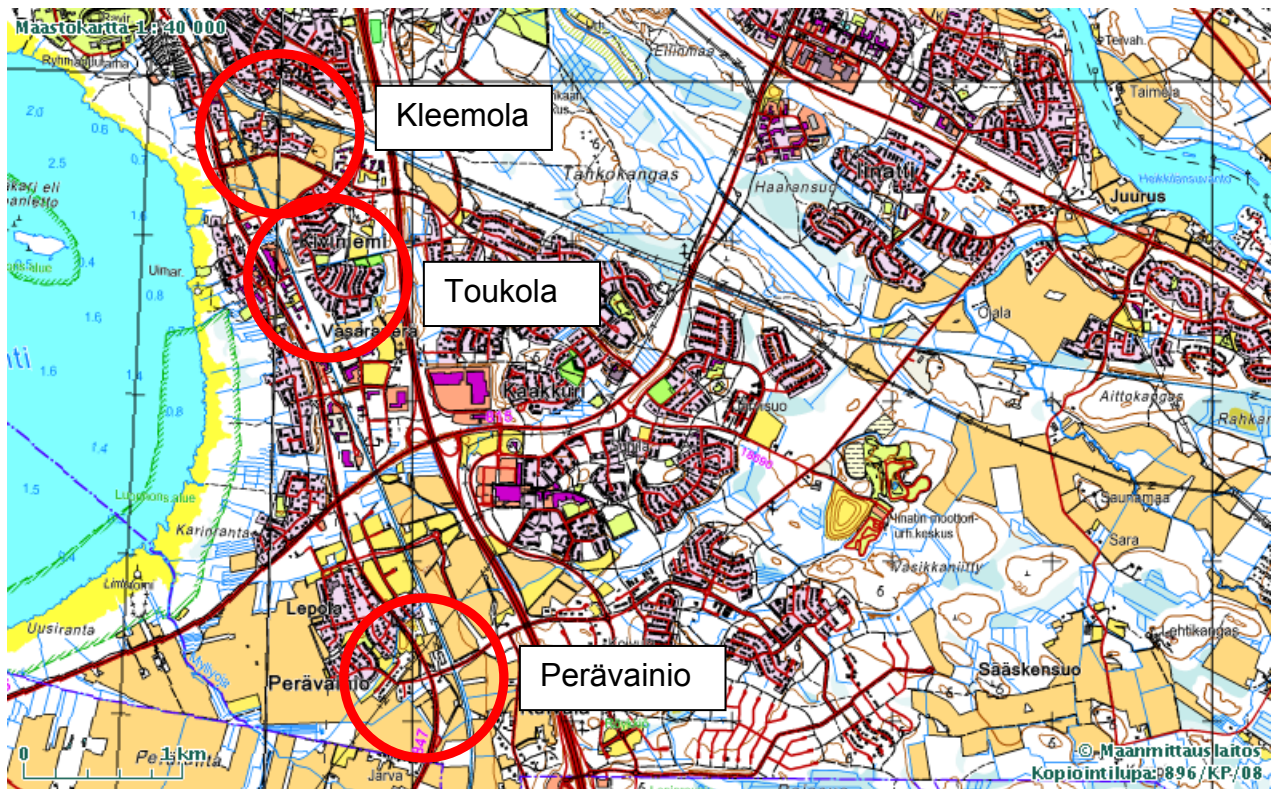


Ratahallintokeskus

Kaksoisraide Liminka – Oulu yleissuunnittelu Ympäristötärinän täydentävä tärinäselvitys Oulun alueella

Tilausnumero/rataosa/projekti
295071 / 1901 / 99

Raportti 11.1.2010
Geomatti Oy, työ 363



Tärinän mittausalueet

SISÄLLYS

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. JOHDANTO..... | 3 |
| 2. TÄRINÄMITTAUKSET | 5 |
| 3. MITTAUSTEN YHTEENVETO | 14 |
| 4. LASKENNALLISET TARKASTELUT | 15 |
| 5. YHTEENVETO | 17 |

LIITTEET

- LIITE 1 VÄRÄHTELYN TUNNUSLUVUT KLEEMOLASSA
- LIITE 2 VÄRÄHTELYN TUNNUSLUVUT TOUKOLASSA
- LIITE 3 VÄRÄHTELYN TUNNUSLUVUT PERÄVAINIOSSA
- LIITE 4 OULUN YLEISKAAVA 2020
- LIITE 5 TÄRINÄN KUVAAMISEN KÄSITTEITÄ

1. JOHDANTO

Liminka – Oulu välin kaksoisraiteen yleissuunnitteluun liittyen on Ratahallintokeskus tilannut Geomatti Oy:ltä täydentävät Oulun alueen ympäristötärinätarkastelut, jotka esitetään tässä raportissa. Alueelta on aikaisemmin tehty vuonna 2006 Ympäristövaikutusten arviointi, jonka yhteydessä määritettiin tärinäriskialueet, joilla ihmiset voivat kokea rautatietärinän häiriönä ((Seinäjoki – Oulu –radan palvelutason parantaminen, Ympäristövaikutusten arviointimenettely, Ympäristövaikutusten arviointiselostus, 2006).

Riskialueiden perusteella on vuonna 2008 tehty ympäristötärinämittauksia (Seinäjoki–Oulu-radon palvelutason parantaminen, ympäristötärinämittaukset Ylivieska–Oulu, 25.5.2008, Geomatti Oy työ 337). Näiden mittausten ja selvitysten lisäksi on alueelta tehty erillisiä tärinäselvityksiä (Oulun kaupunki, Oulun portin asemakaava-alue, Rautatieliikennetärinän riskikartoitus, Geobotnia Oy 29.1.2003 ja Ratahallintokeskus Idealinja 3 90420 Oulu, Tärinämittausraportti 18.12.2009, Geomatti Oy, työ 372).

Tärinähaitan arviointi radan ympäristön asuinrakennuksissa perustuu sekä mittauksiin että laskennallisiin tarkasteluihin.

Mittauskohteet olivat Kleemola, Toukola ja Perävainio (ks. kansilehti). Ne valittiin ympäristön vaikutusten arviointiselostuksessa esitettyjen riskialueiden perusteella (Seinäjoki – Oulu –radon palvelutason parantaminen, Ympäristövaikutusten arviointimenettely, Ympäristövaikutusten arviointiselostus, 2006) täydentämään aikaisemmin tehtyjä mittauksia. Mittauskohteiden valinnassa oltiin yhteydessä Oulun kaupunkiin. Täydentävät tärinämittaukset tehtiin marraskuussa 2009.

Tärinäselvityksessä on sovellettu VTT:n suositusta liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa (VTT 2006, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, Working Papers 50), jonka mukaan arviointi jaetaan kolmeen tasoon. Arviointitasojen perustana on yleensä yhdyskuntasuunnittelu. Tässä yhteydessä arviointitasoja sovelletaan myös radan suunnitteluun.

Arviointitaso1 perustuu VTT:n määrittelemiin turvaetäisyyksiin. Arviointitason 1 mukaan on suositeltava turvaetäisyys raskaasti liikennöityjen ratojen ympäristössä pehmeällä maalla jopa 1000 metriä ja kovalla maapohjalla noin sata metriä. Arviointitasoa 1 käytetään maakuntakaavan tai yleiskaavan rautatietärinäriskitarkasteluissa.

Arviointitasoa 2 voidaan käyttää, kun yleiskaavassa tai asemakaavassa rakentamista ohjataan yksityiskohtaisesti ja arviointitason 1 perusteella alue on riskialuetta. 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.

Tämän tarkastelun lähtökohtana on suosituksen arviointitaso 2, jossa tarkistusluonteisten tärinämittausten avulla tarkennetaan aikaisemmin tehtyjen mitausten tuloksia ja laskennallisia tärinätarkasteluja.

Rataosan tavaraliikenne on vilkasta ja sen määrä oli vuonna 2007 noin 4 miljoonaa tonnia. Henkilöliikenteen määrä radalla oli vuonna 2007 noin miljoona matkustajaa. Radan nykyinen palvelutasoluokka on tavaraliikenteessä T2 ja henkilöliikenteessä H2. Suurin akselipaino on nykyisin 22,5 tonnia, ja suurin nopeus 140 km/h henkilöliikenteessä (Ratahallintokeskuksen toiminta- ja taloussuunnitelma vuosille 2010 – 2013). Raskaimmat tavarajunat liikennöivät Vartiuksesta Raaheen ja Kokkolaan.

Radan palvelutason parantamisen yhteydessä junien nopeus nostetaan henkilöliikenteessä junatyypistä riippuen tasolle 160 – 200 km/h ja tavaraliikenteessä tasolle 80 – 100 km/h. Tavaraliikenteen suurin akselipaino nostetaan 25 tonniin. Tavaraliikenteen arvioidaan kasvavan tulevaisuudessa noin 20 – 30 %.

Suurimman tärinän radan ympäristössä aiheuttavat yleensä raskaat ja pitkät tavarajunat. Tavarajunien painot ovat yleensä noin 500 – 2000 tonnia. Venäjältä Vartiuksen kautta tulevien raskaimpien junien kokonaispaino on 5000 ... 6000 tonnia. Palvelutason parannuksen jälkeen ei junien suurimmissa painoissa ole odotettavissa olennaisia muutoksia. Todennäköisesti raskaiden junien osuus kuitenkin kasvaa, jolloin tärinävaikutukset voivat tältä osin lisääntyä.

Suurinta tärinä radan läheisyydessä on yleensä hienorakeisilla maapohjilla, kuten lieju-, turve-, savi- ja silttikerrostumissa.

Tarkasteltavien alueiden maapohjatiedot perustavat Alustavan yleissuunnitelman pituusleikkauksiin ja maaperäkarttatietoihin (kuva 10). Pituusleikkauksissa on paikoin vain vähän tietoa maapohjasta. Maapohja radan alla Oulun selvitysalueiden kohdilla on pohjatutkimusten perusteella yleensä savista ja hiekkaista silttiä, paikka paikoin hiekkaiset maakerrokset nousevat maanpinnalle. Painokairaukset on päätetty yleensä noin 10...15 metrin syvyydessä. Käsitys maapohjasta radan ulkopuolella perustuu pääosin valmisteilla olevaan Geologisen tutkimuslaitoksen (GTK) maaperäkartaan. Yleensä maaperäkartan tulkintaa vahvistaa maankamaran topografiatiedot: maanpinnan vaihtelut. Tarkasteltava alue on poikkeuksellisen tasainen, jolloin maapohjan ja eri maakerrosten tulkinta on tavanomaista vaativampaa.

Ratahallintokeskuksen Ratateknisissä ohjeissa (RATO), osassa 3 Radan rakenne, sovelletaan tärinämittauskäytäntöä, jonka perusteella voidaan arvioida tärinän aiheuttamaa ihmisten kokemaa häiriötä (VTT, *Tiedotteita 2278, 2004*). Tärinän ohje-arvot perustuvat tärinän heilahdusnopeuden taajuuspainotetun tehollisarvon mittaamisen perusteella tilastollisesti määritettyyn värähtelyn tunnuslukuun $v_{w,95}$ (taulukko 1 ja liite 5). Tärinähaittaa radan ympäristössä tarkastellaan tässä raportissa taulukossa 1 esitettyjen värähtelyluokkien perusteella. Uusille radoille ja radoille, joilla liikennenopeutta tai akselipainoja nostetaan aikaisempaan verrattuna, sovelletaan värähtelyluokkaa C.

Tehollisarvo, jossa yksittäiset huippuarvot tasoittuvat, kuvaa paremmin tärinän aiheuttamaa haittaa ihmisen häiriintymiselle kuin huippuarvo, joka soveltuu paremmin rakenteiden vaurioitumistarkasteluihin.

Taulukko 1. Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta (VTT, Tiedotteita 2278, 2004).

| 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 suunnittelussa. Keskimäärin 15 % asukkaista kokee tärinän häiriönä. | < 0,30 |
| D | Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25 % asukkaista kokee tärinän häiriönä. | < 0,60 |

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).

Tärinän vähentämismahdollisuuksia on tarkasteltu luvussa 3.

2. TÄRINÄMITTAUKSET

Mittauskohteiden: Kleemolan, Toukolan ja Perävainion alueilta rakennuskanta on pääosin pientaloja.

Tärinämittausten kenttätyöt teki Tärinämittaus Valtonen Oy. Tärinämittaukset kestivät kullakin alueella 40 tuntia. Mittausaikaan sisältyi kaksi yötä, jolloin suurimman tärinän aiheuttavien tavarajunien liikenne on yleensä vilkkainta. Mittauspisteet valittiin pareittain siten, että kussakin paikassa toinen mittari oli sokkelissa ja toinen sokkelin läheisyydessä maassa.

Tärinästä mitattiin heilahdusnopeudet (mm/s) ja taajuudet (Hz) Instantel MiniMate Plus mittareilla kolmessa toisiaan kohtisuorassa suunnassa kolmikomponenttigonofonilla, pysty- (vert), pitkittäis- (long) ja poikittaissuunnassa (trans). Pitkittäissuunta (long) on radan suuntainen ja poikittaissuunta (tran) kohtisuoraan rataa vasten. Mittaukset oli suunniteltu käynnistyväksi tärinän huippuarvon ylitettyä kynnyksarvon 0,3 mm/s. Junan aiheuttamat tärinät tunnistettiin muista tärinälähteistä, kuten rekka-autoista, tärinäsignaalien ja tapahtuma-ajan perusteella

Vilkaasti liikennöidyllä rataosuudella on mahdotonta ainoastaan suuntaa-antavien juna-aikataulujen perusteella määrittää luotettavasti kunkin mittauspisteen tärinän aiheuttanutta junaa. Rataosan tavaraliikenne oli kuitenkin mittausaikana tavanomaista, joten tältä osin nykyinen tärinätaso mittauspisteissä voidaan arvioida suhteellisen luotettavasti.

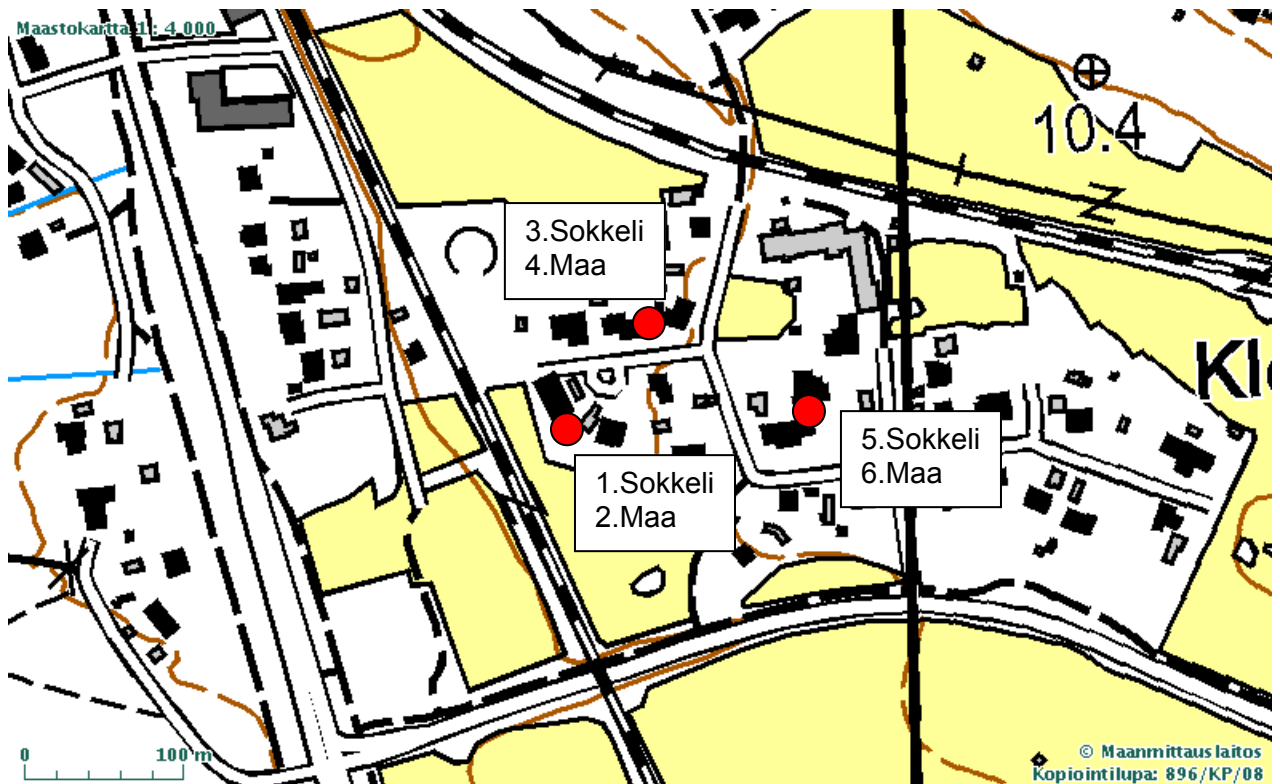
Kleemola (noin kmv 748+300 – 748+600)



Kuva 1. Mittauspisteet 3 ja 4 olivat kuvan rakennuksen oikeassa reunassa..

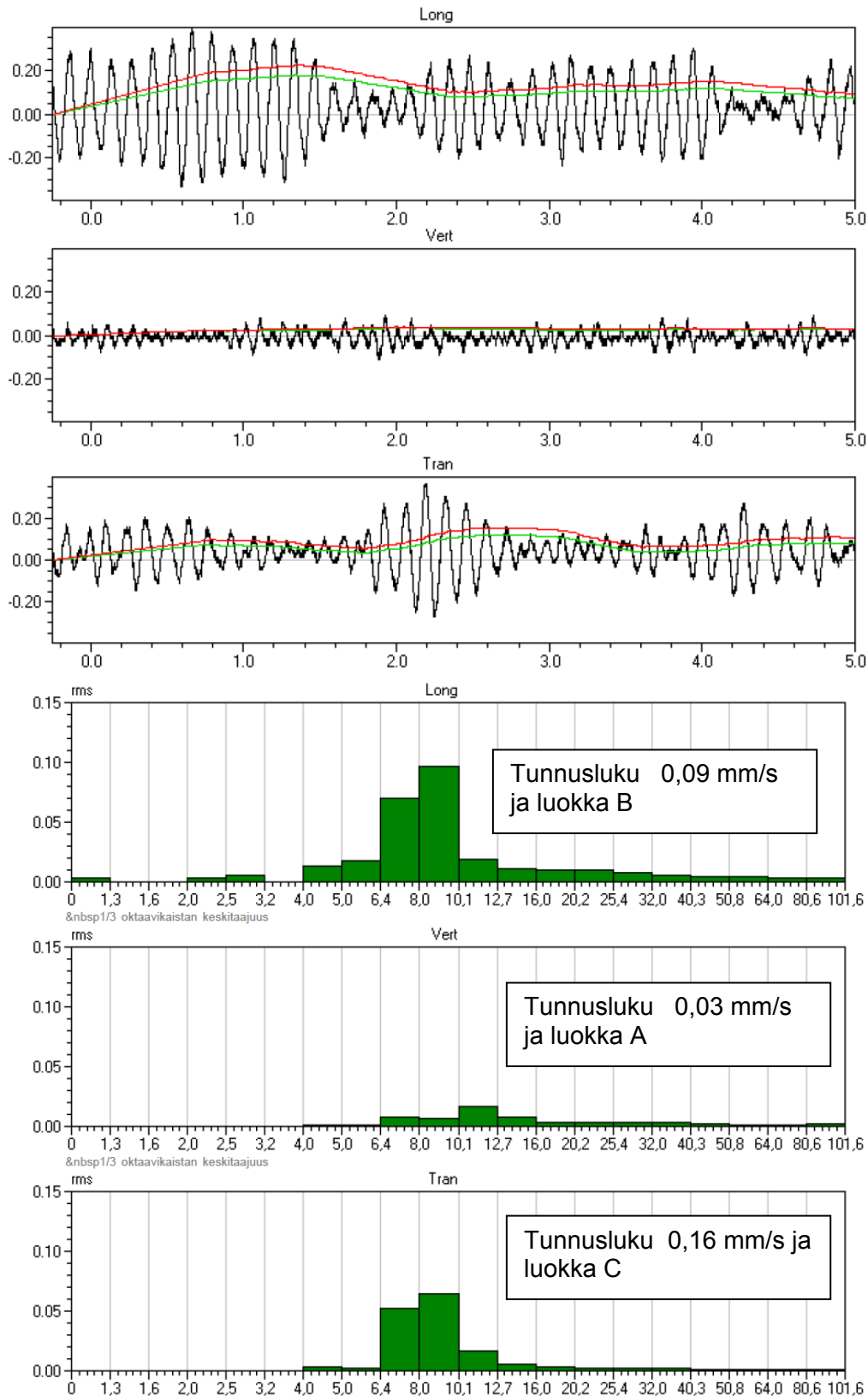
Maapohja radan alla mittauspaikan kohdalla on pituusleikkausten perusteella hienoa hiekkaa. Kairaukset ovat päättyneet noin 5 metrin syvyydessä maanpinnalta. Maaperäkartan (kuva 10) perusteella voidaan arvioida, että mittauspisteet ovat moreenialueella.

Tärinämittaukset tehtiin 19.10 klo 9.00 - 21.10 klo 4.30 välisenä aikana. Tärinämittauspisteet on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kleemolan mittauspisteet. Kopiointilupa 896/KP/08.

Kuvassa 3 on esitetty mittauspisteessä MP1 (sokkeli) suurimman värinän aiheuttaneen tapahtuman tulokset sekä aika- että taajuustasossa.



Kuva 3. Värinämittaustulos Kleemolassa sokkeliin kiinnitettyssä mittauspisteessä MP1 (20.11.2009, klo 17.18). Yläosassa tulokset aikatasossa ja alaosassa taajuustasossa.

Mittaustulosten yhteenvedot mittauspisteittäin ja tapahtumittain on esitetty liitteessä 1. Ainoastaan mittauspisteissä MP1 ja MP2 tärinä ylitti mittareiden kynnyksarvon 0,3 mm/s. Näissäkin mittauspisteissä vain kaksi kertaa.

Mittaustuloksia ei ollut riittävästi tilastollista tarkastelua ja sen perusteella tehtävää värähtelyluokkien määrittämistä varten. Sokkeliin kiinnitetyssä mittauspisteessä MP1 olivat mitattujen tapahtumien värähtelyjen tunnusluvut vaakasuunnissa sokkelissa välillä 0,03 - 0,16 mm/s ja näitä vastaavat värähtelyluokat A tai C (ks. Taulukko 1).

Mitattujen tärinöiden taajuus oli yleensä, noin 5 – 10 Hz.

Suurin mitattu tärinän huippuarvo oli vaakasuunnassa (tran) 0,40 mm/s ja pystysuunnassa (vert) 0,11 mm/s.

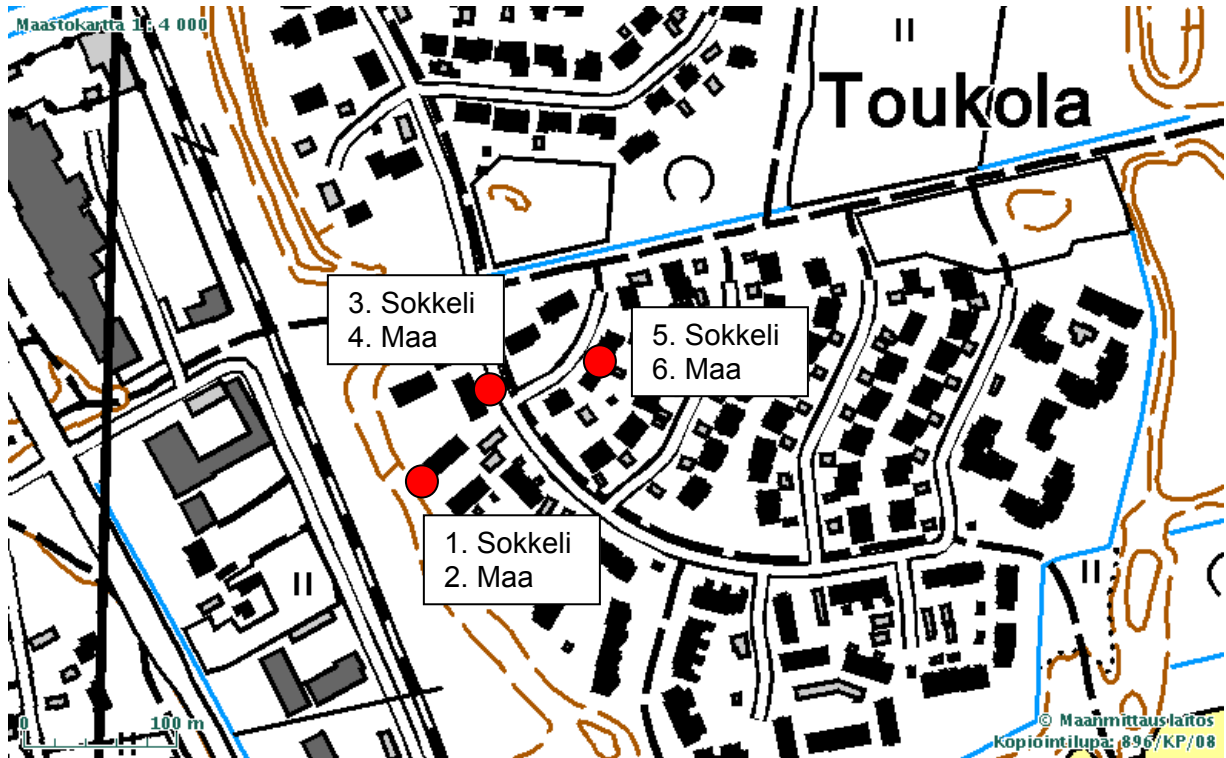
Toukola (noin kmv 747+300 – 747+500)



Kuva 4. Mittauspisteet 3 ja 4 olivat kuvan rakennuksen keskivaiheilla.

Maapohja radan alla mittauspaikan kohdalla on pituusleikkausten perusteella pääosin löyhää ...keskitiivistä hiekkaa, siten että löyhimmät kerrostumat ovat alueen eteläosassa ja tiiviimmät pohjoisosassa. Kairaukset ovat päättyneet noin 5 metrin syvyydessä maanpinnalta. Mittauspaikan eteläpuolella radan suunnassa maapohja muuttuu selvästi pehmeämmäksi ja hienorakeisemmaksi. Maaperäkartan (kuva 10) perusteella voidaan arvioida, että maapohja mittauspaikoilla on hienoa hiekkaa (hie-taa).

Tärinämittaukset tehtiin 17.10 klo 15.30 - 19.10 klo 8.30 välisenä aikana. Tärinämittauspisteet on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Toukolan mittauspisteet. Kopiointilupa 896/KP/08.

Mittaustulosten yhteenvedot mittauspisteittäin ja tapahtumittain on esitetty liitteessä 2. Mittauspisteissä MP1 mitattiin 12 ja mittauspisteessä MP2 13 tapahtumaa, mittauspisteissä MP3 ja MP4 vastaavasti 11 tapahtumaa ja mittauspisteissä MP5 ja MP6 7 tapahtumaa. Koska mitaustapahtumia ei missään pisteessä ollut tarvittavaa 15 kappaletta, ei värähtelyluokkia voitu määrittää tilastollisen tarkastelun perusteella. Kuvassa 6 on esitetty mittauspisteessä MP1 mitattu suurimman tärinän aiheuttanut junatärinä tapahtuma aika- ja taajuustasossa.

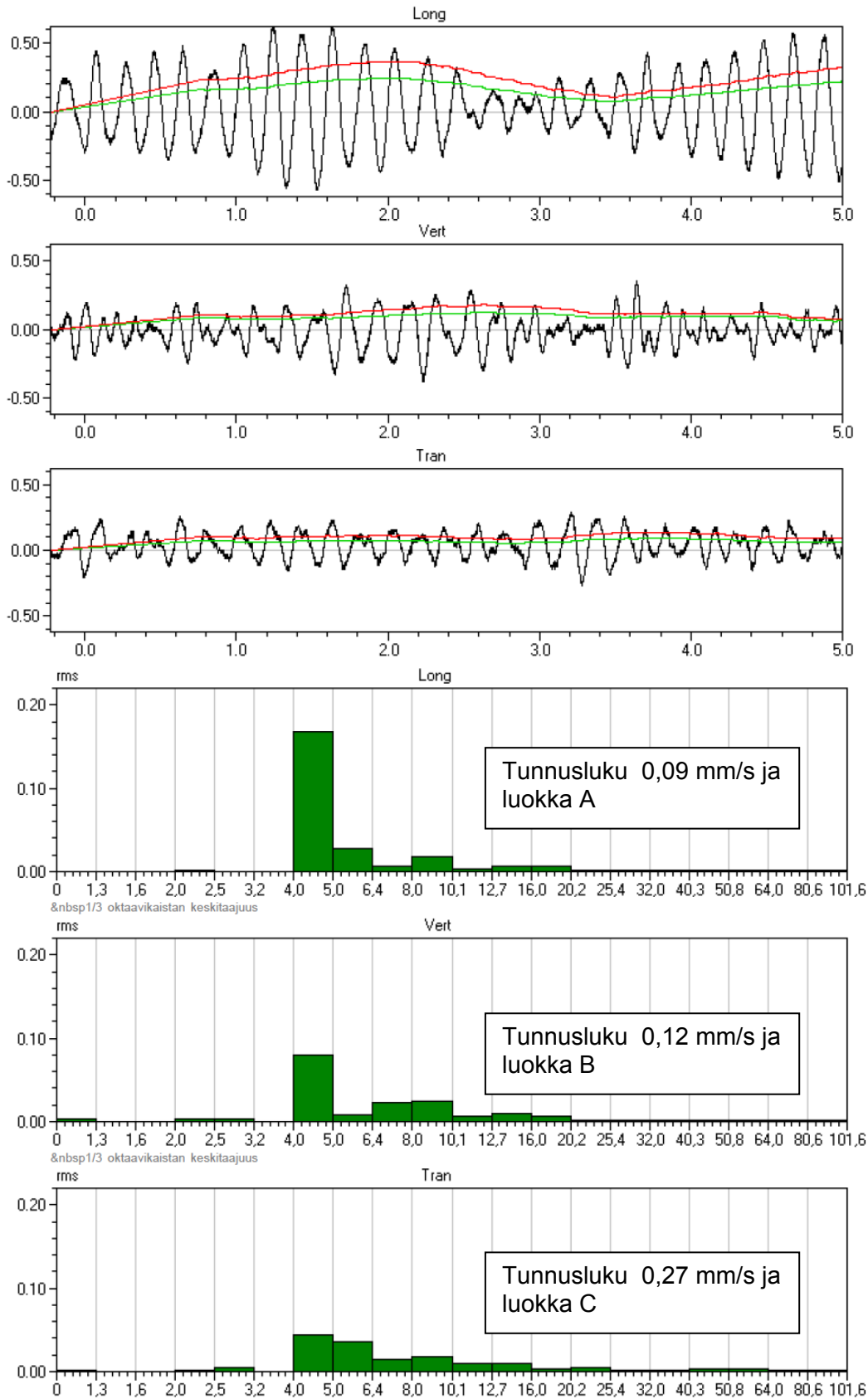
Mittaustuloksista epävirallisesti määritetyt värähtelyn tunnusluvut ja luokat olivat sokkelin mittauspisteessä MP 1 noin 60 metrin etäisyydellä radasta poikittaisessa vaakasuunnassa (tran) 0,12 mm/s, B-luokka, pystysuunnassa (vert) 0,14 mm/s, B-luokka ja pitkittäisessä vaakasuunnassa (long) 0,15 mm/s, C-luokka.

Vastaavat arvot sokkeliin kiinnitetystä mittauspisteessä MP3 noin 110 metrin etäisyydellä radasta olivat poikittaisessa vaakasuunnassa (tran) 0,12 mm/s, B-luokka, pystysuunnassa (vert) 0,12 mm/s, B-luokka ja pitkittäisessä vaakasuunnassa (long) 0,10 mm/s, B-luokka ja sokkeliin kiinnitetystä mittauspisteessä MP5 noin 200 metrin etäisyydellä radasta poikittaisessa vaakasuunnassa (tran) 0,12 mm/s, B-luokka, pystysuunnassa (vert) 0,13 mm/s, B-luokka ja pitkittäisessä vaakasuunnassa (long) 0,08 mm/s, B-luokka

Mitattujen tärinöiden taajuus oli yleensä, noin 5 – 10 Hz.

Suurinta tärinä oli sokkeleissa mittauspisteessä MP1, jossa suurin mitattu tärinän huippuarvo oli vaakasuunnassa (long) 0,62 mm/s ja pystysuunnassa (vert) 0,38 mm/s.

Kuvassa 6 on esitetty mittauspisteessä MP1 (sokkeli) suurimman värinän aiheuttaneen tapahtuman tulokset sekä aika- että taajuustasossa.



Kuva 6. Tärinämittaustulos Toukolassa sokkeliin kiinnitettyssä mittauspisteessä MP1 (18.11.2009, klo 00.34). Yläosassa tulokset aikatasossa ja alaosassa taajuustasossa.

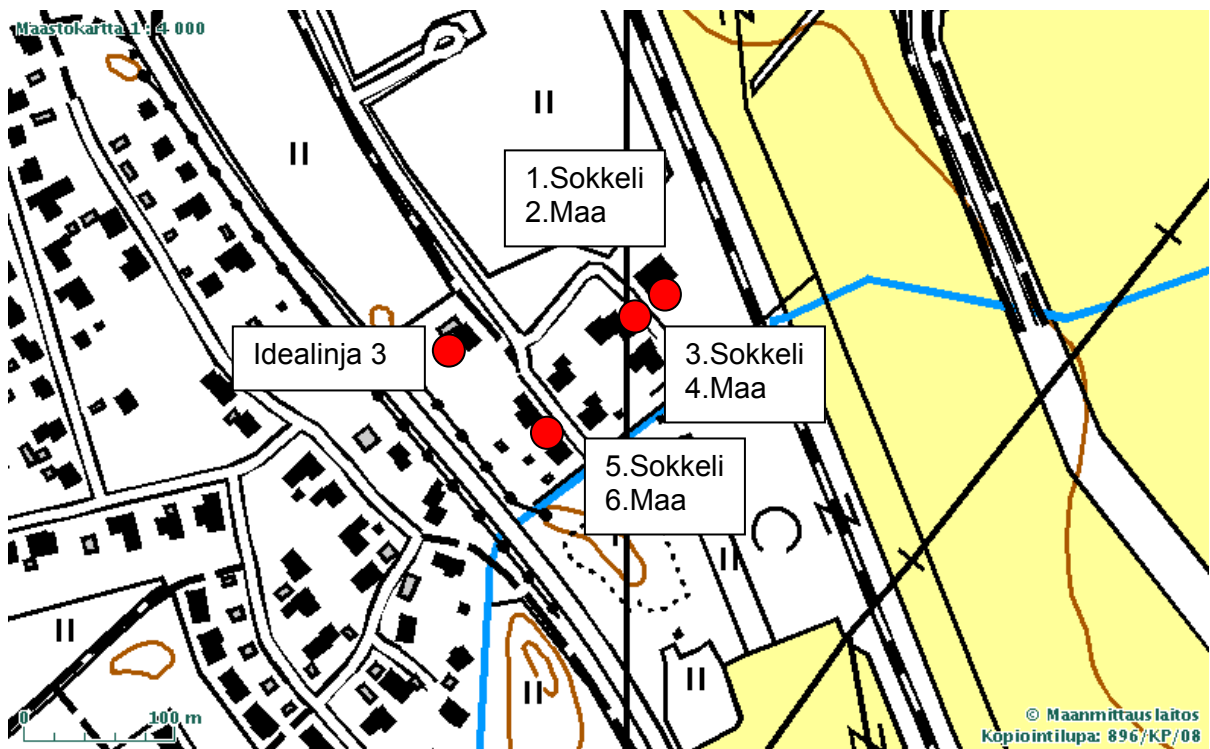
Perävainio (noin kmv 745+200 – 745+450)



Kuva 7. Mittauspisteet 5 ja 6 olivat rakennuksen sokkelissa ja läheisyydessä maassa.

Maapohja radan alla mittauspaikan rakennusten kohdalla on pituusleikkausten perusteella pääosin löyhää ...keskitiivistä hiekkaa. Kairaukset ovat päättyneet noin 5 metrin syvyydessä maanpinnalta. Sekä etelä- että pohjoispuolella mittauspaikkaa maapohja muuttuu radan suunnassa selvästi pehmeämmäksi ja hienorakeisemmaksi. Maaperäkartan (kuva 10) perusteella voidaan arvioida, että maapohja mittauspaikoilla on hienoa hiekkaa (hietaa).

Tärinämittaukset tehtiin 15.10 klo 21.30 - 17.10 klo 13.30 välisenä aikana. Tärinämittauspisteet on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Perävainion mittauspisteet. Kopiointilupa 896/KP/08. Idealinja 3:n mittaus on tehty erillisenä ja siitä on siten erillinen mittausraportti.

Mittaustulosten yhteenvedot mittauspisteittäin ja tapahtumittain on esitetty liitteessä 3. Mittauspisteissä MP1 mitattiin 7 ja mittauspisteessä MP2 15 tapahtumaa, mittauspisteissä MP3 ja MP4 vastaavasti 12 ja 15 tapahtumaa ja mittauspisteissä MP5 ja MP6 11 tapahtumaa. Koska mittaustapahtumia ei missään sokkeleiden mittauspisteessä ollut vaadittua 15 kappaletta, ei värähtelyluokkia voitu määrittää tilastollisen tarkastelun perusteella.

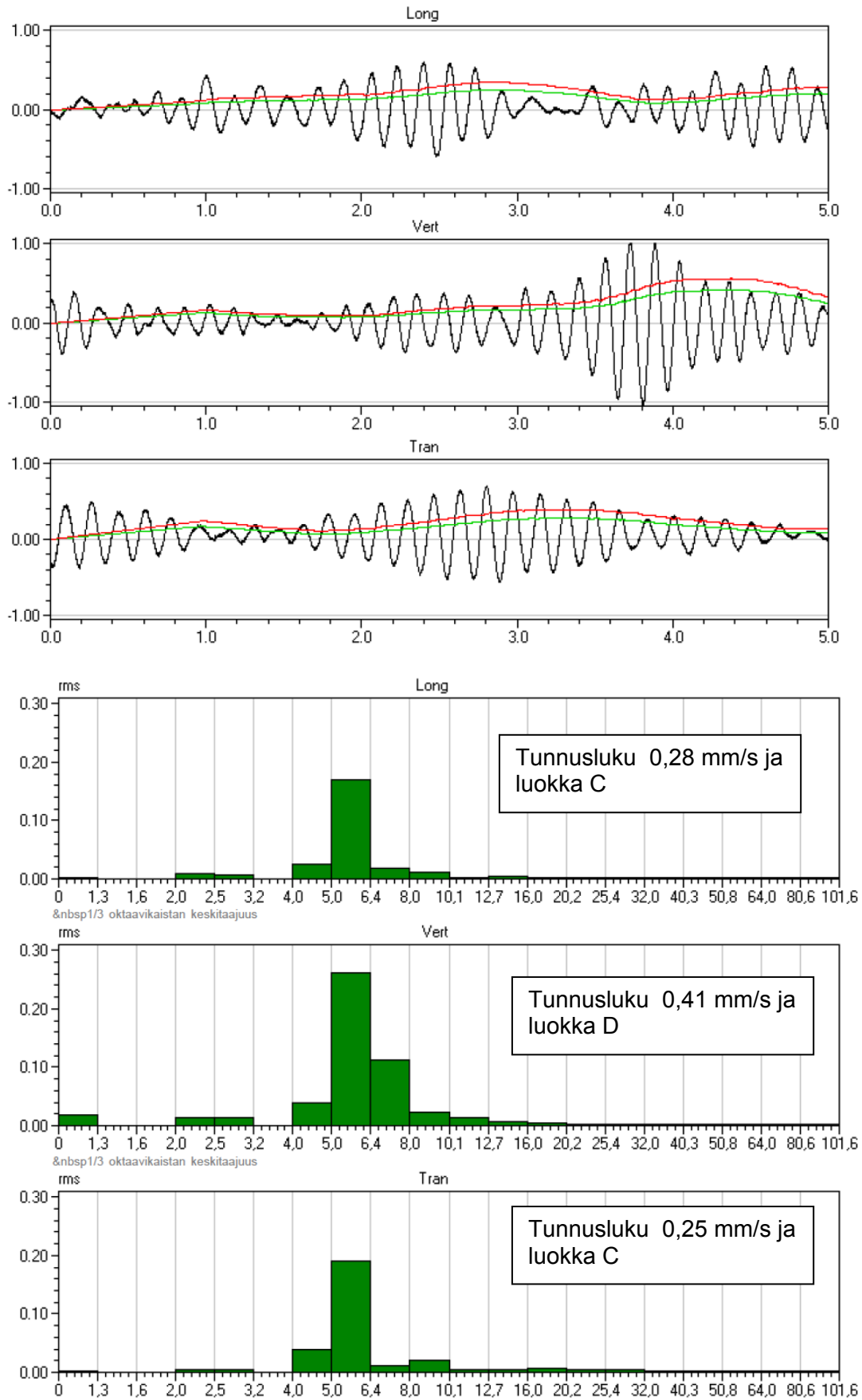
Mittaustuloksista epävirallisesti määritetyt värähtelyn tunnusluvut ja luokat olivat sokkelin mittauspisteessä MP 1 noin 50 metrin etäisyydellä radasta poikittaisessa vaakasuunnassa (tran) 0,16 mm/s, C-luokka, pystysuunnassa (vert) 0,20 mm/s, C-luokka ja pitkittäisessä vaakasuunnassa (long) 0,25 mm/s, C-luokka.

Vastaavat arvot sokkeliin kiinnitetyssä mittauspisteessä MP3 noin 80 metrin etäisyydellä radasta olivat poikittaisessa vaakasuunnassa (tran) 0,21 mm/s, C-luokka, pystysuunnassa (vert) 0,12 mm/s, B-luokka ja pitkittäisessä vaakasuunnassa (long) 0,20 mm/s, C-luokka ja sokkeliin kiinnitetyssä mittauspisteessä MP5 noin 160 metrin etäisyydellä radasta poikittaisessa vaakasuunnassa (tran) 0,15 mm/s, C-luokka, pystysuunnassa (vert) 0,30 mm/s, D-luokka ja pitkittäisessä vaakasuunnassa (long) 0,13 mm/s, B-luokka

Mitattujen värähtelien taajuus oli yleensä, noin 5 – 10 Hz.

Suurinta värähtely oli ehkä odottamattomasti sokkeleissa mittauspisteessä MP5, joka oli kauimmaisena radasta. Suurin mitattu värähtelyn huippuarvo oli vaakasuunnassa (tran) 0,70 mm/s ja pystysuunnassa (vert) 1,05 mm/s. Mittauspisteeseen MP5 suureen värähtelyyn voi olla syynä muita mittauspisteitä hienorakeisempi maapohja. Tätä olettamusta ei maaperäkartan tiedot kuitenkaan tue (kuva 10).

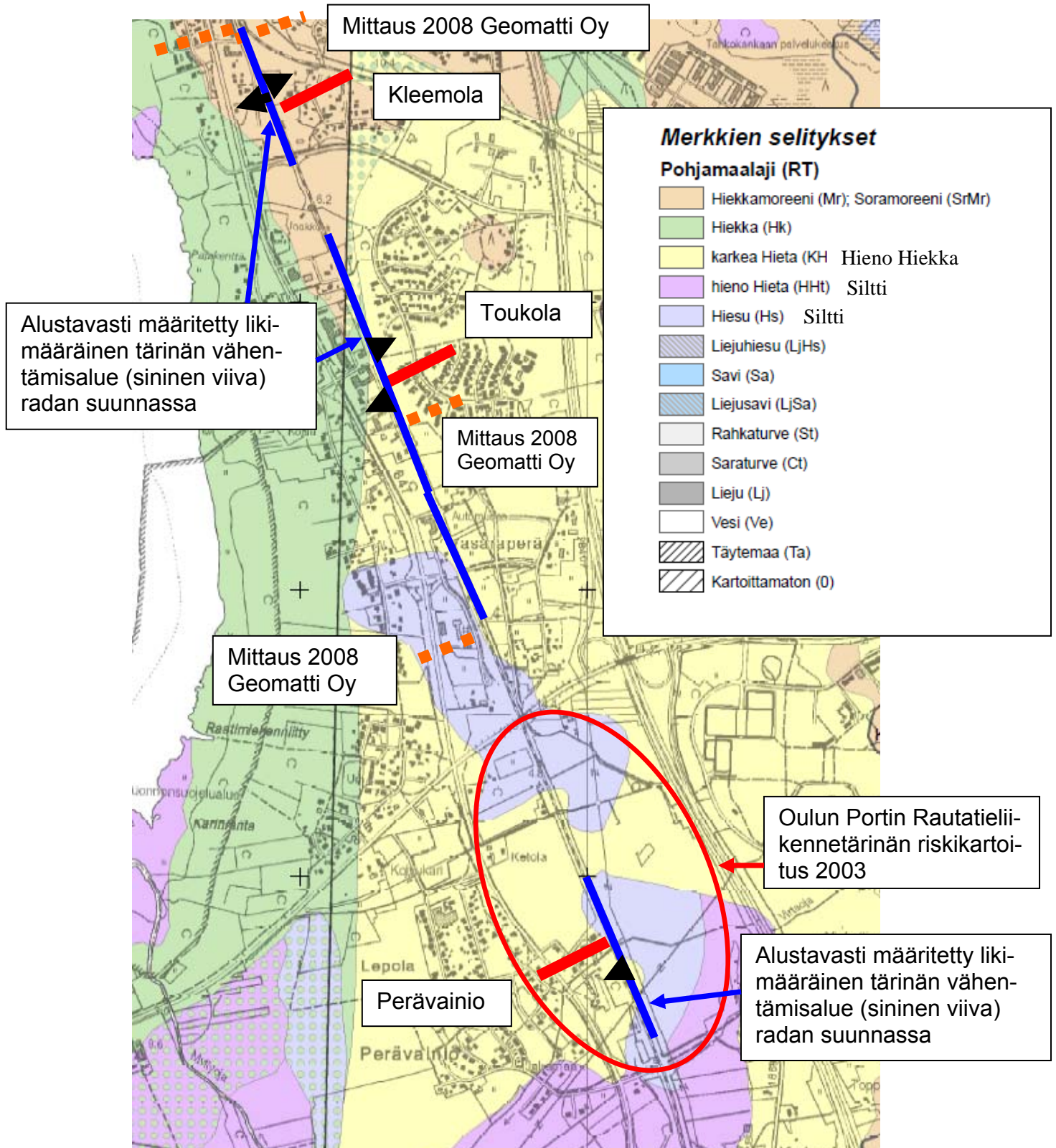
Kuvassa 9 on esitetty mittauspisteessä MP5 (sokkeli) suurimman värähtelyn aiheuttaneen tapahtuman tulokset sekä aika- että taajuustasossa.



Kuva 9. Tärinämittaustulos Perävainiossa sokkeliin kiinnitettyssä mittauspisteessä MP5 (17.11.2009, klo 11.08). Yläosassa tulokset aikatasossa ja alaosassa taajuustasossa..

3. MITTAUSTEN YHTEENVETO

Nyt tehdyt ja aikaisemmin tehtyjen mittauksen paikat on esitetty kuvassa 10.

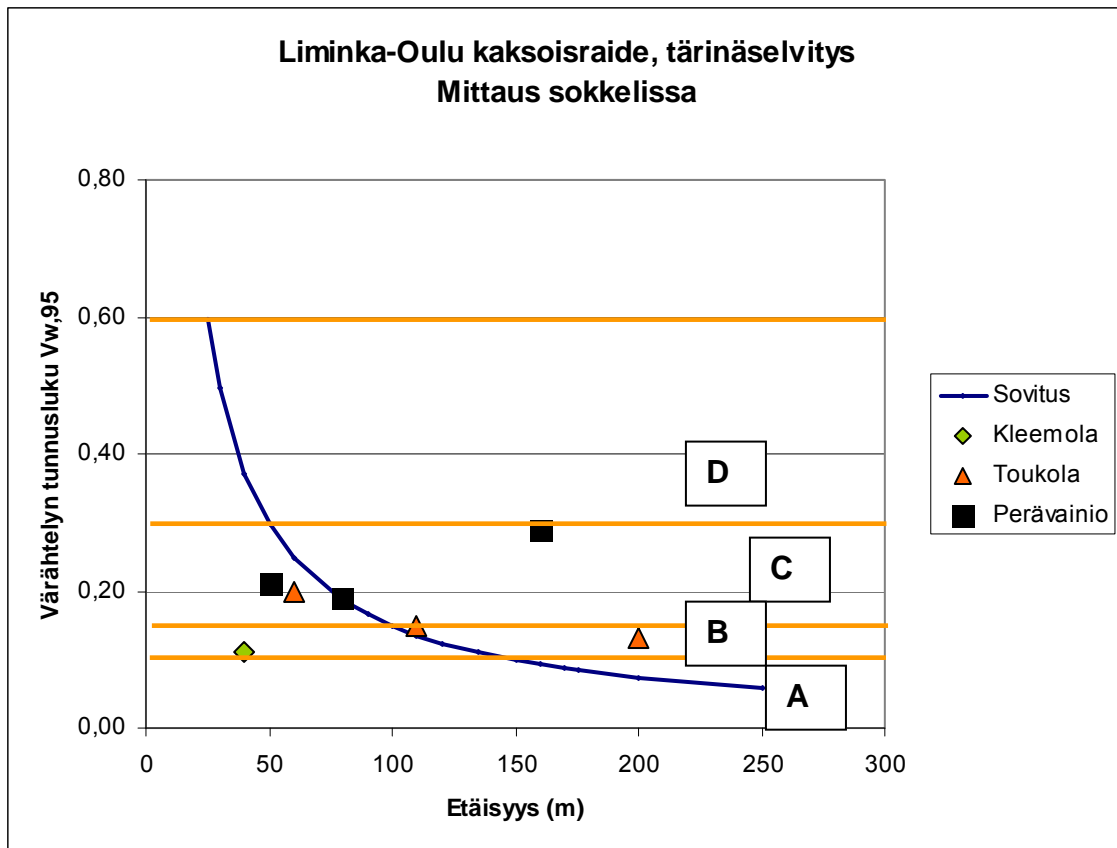


Kuva 10. Kleemolan, Toukolan ja Perävainion mittauslinjat (yhtenäinen punainen viiva) likimääräisesti esitettyinä sekä aiemmin vuonna 2008 tehtyjen mittauksen mittauslinjat. Pohjakaarta maaperäkarta. Kuvassa on radan kohdalle sen suunnassa merkitty sinisellä viivalla tärinän vähentämistoimenpiteiden alustava rajaus. Musta nuoli osoittaa puolen, jolla tärinävähentämistoimia tarvitaan.

Kuvassa 11 on esitetty sokkeleista mitatut värähtelyn tunnusluvut, jotka vastaavat myös yksikerroksisen rakennuksen värähtelytasoa (vahvistumiskerroin 1).

Mitatut värähtelytaso poikkesivat jonkun verran toisistaan. Erityisesti Perävainion ka-uimmaisen mittauspisteen värähtelytaso oli selvästi muita korkeampi. Tähän voi olla syynä maapohjavaihtelut, jotka eivät selviä maaperäkarttatiedoista.

Värähtelyn tunnuslukua ei voitu yleensä määrittää tilastollisesti. Mitattuihin tapahtumiin sokkelista määritetyt värähtelyluokat olivat kaikissa mittauskohteissa joko A, B tai C.



Kuva 11. Sokkelista mitatut värähtelyn tunnusluvut etäisyyden suhteen.

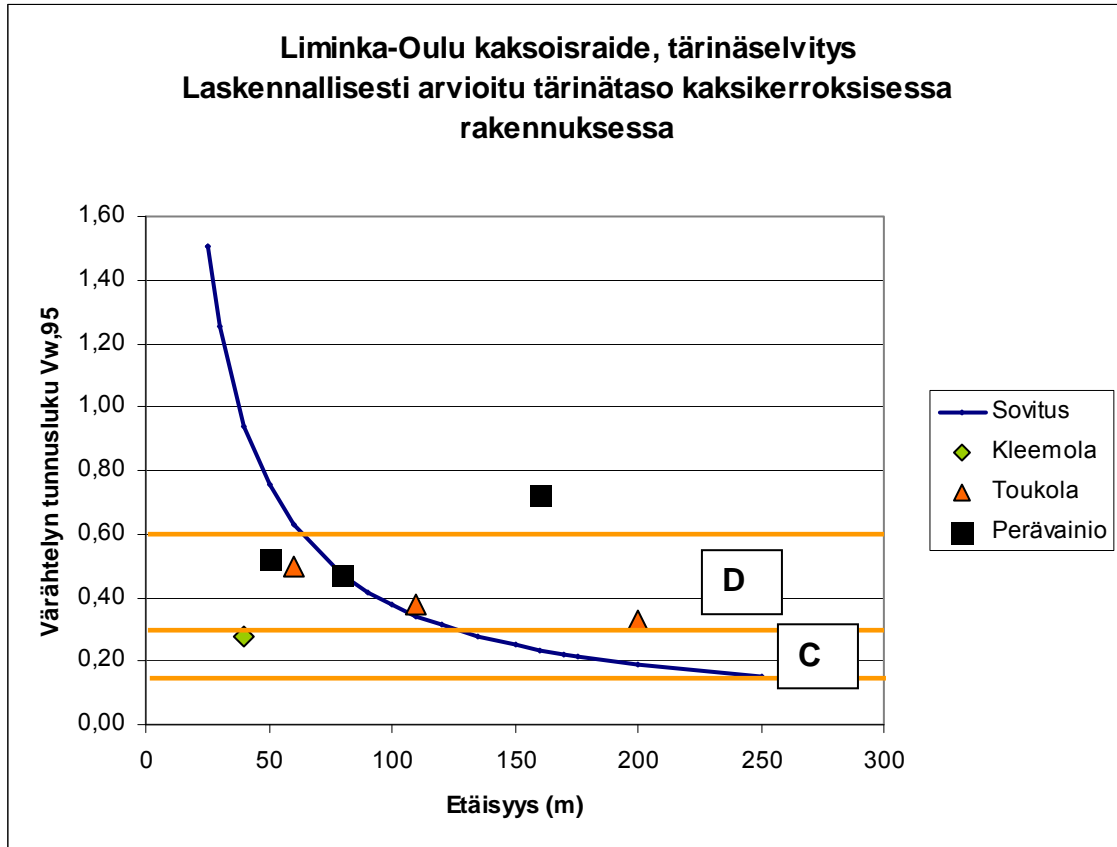
Yksikerroksisten pientalojen värähtelyluokkien C/D on noin 50 metrin etäisyydellä radasta, Perävainion aluetta lukuun ottamatta, jossa vastaava raja voi olla noin 150 metrin etäisyydellä.

4. LASKENNALLISET TARKASTELUT

Värähtely yleensä vahvistuu sen siirryessä sokkelista ylärakenteisiin. Koska mitatut taajuusalueet olivat yleensä kapeakaistaisia alueella noin 5 – 10 Hz, voi vahvistuminen olla kaksikerroksisissa rakennuksissa merkittävää. Yleensä värähtely on rakennuksen toisessa kerroksessa noin 1,5 – 2,5 kertaa suurempaa kuin sokkelissa. Kun rakenteet ovat resonanssialueella, voi vahvistuminen olla selvästi suurempaakin. Tässä selvityksessä tehdyissä tarkasteluissa on lähtökohtana värähtelyn vahvistuminen 2,5-kertaiseksi. Yksikerroksisissa rakennuksissa, joissa on maanvarainen lattia,

lattian värähtely on yleensä saman suuruista kuin sokkelissa, jolloin vahvistumiskerroin on 1,0 (VTT Tiedotteita 2425. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi 2008).

Kuvassa 12 on esitetty laskennallisesti arvioitua värähtelytasoa kaksikerroksisessa rakennuksessa, kun värähtelyn vahvistumiskerroin on 2,5. Laskennallinen tarkastelu on tehty olettaen, että mittauskohdalla on kaksikerroksinen rakennus.



Kuva 12. Laskennallisesti arvioitu kaksikerroksisen rakennuksen värähtelytaso etäisyyden suhteen.

Kaksikerroksisten pientalojen värähtelyluokkien C/D on noin 130 metrin etäisyydellä radasta, Perävainion aluetta lukuun ottamatta, jossa vastaava raja on selvästi kauempana, jopa noin 300 metrin etäisyydellä radasta.

5. YHTEENVETO

Tärinäselvityksessä on raportoitu Liminka – Oulu kaksoisraiteen yleissuunnitelman täydentävät ympäristötärinätarkastelut Oulun alueella. Työn tavoitteena oli selvittää rautatieliikenteen aiheuttaman tärinän vaikutukset radan ympäristön olemassa olevissa asuinrakennuksissa.

Tärinän hallintatoimien tavoitteena on, että värähtelytaso radan ympäristön asuinrakennuksissa olisi kaksoisraiteen rakentamisen jälkeen korkeintaan luokkaa C (ks. Taulukko 1) Tärinähaitan arviointi perustuu pääosin tärinämittauksiin maasta ja rakennusten sokkeleista. Laskennallisesti on tarkasteltu värähtelyn voimistumista kaksikerroksisessa rakennuksessa.

Ympäristötärinämittausten kohdekohtainen mittausaika oli 40 tuntia, joka sisälsi kahden yön aikaiset mittaukset, jolloin raskaat tavarajunat yleensä liikennöivät. Kaikissa mittauskohteissa ei mittausaikana voitu taltioida 15 raskaan junan aiheuttamaa tärinää. Tähän oli syynä paitsi liikennemäärät, myös se että riittävän etäällä radasta ei tärinän suuruus ylittänyt käytettyä kynnyсарvoa, joka oli huippuarvona ilmaistuna 0,3 mm/s. Koska tärinämittaustuloksia oli lähes kaikissa mittauspisteissä alle 15, ei ohjeiden mukainen tilastollinen tarkastelu ole riittävä. Kuitenkin nyt ja aikaisemmin tehtyjen mittausten perusteella voidaan arvioida suhteellisen luotettavasti alueet, joilla tarvitaan tärinän vähentämistoimenpiteitä.

Mitatut tärinätasot olivat samaa suuruusluokkaa kaikilla mitatuilla alueilla: Kleemolasassa, Toukolassa ja Perävainiossa lukuun ottamatta Perävainion kauimmaista mittauspistettä, jossa tärinätaso oli selvästi muita korkeampi. Syynä Perävainion kauimmaisen mittauspisteen korkeaan tärinätasoon voi olla vaihtelut maapohjassa.

Mitatut tärinän hallitsevat taajuudet olivat kauttaaltaan noin 5 ... 10 Hz.

Ratateknisissä ohjeiden (RATO), osan 3 Radan rakenne mukaan uusille radoille ja radoille, joilla liikennenopecta tai akselipainoja nostetaan aikaisempaan verrattuna, sovelletaan tärinän värähtelyluokkaa C (taulukko 1). Tämä määrittää tärinän hallinnan tavoitteellisen tason radan ympäristön asuinrakennuksissa.

Yksikerroksisten pientalojen värähtelyluokkien C/D raja on noin 50 metrin etäisyydellä radasta, Perävainion aluetta lukuun ottamatta, jossa vastaava raja voi olla noin 150 metrin etäisyydellä. Yksikerroksisten rakennusten lattian värähtelyn oletettiin olevan sama kuin sokkelin värähtely.

Kaksikerroksisten pientalojen värähtelyluokkien C/D raja on noin 130 metrin etäisyydellä radasta, Perävainion aluetta lukuun ottamatta, jossa vastaava raja on selvästi kauempana, jopa noin 300 metrin etäisyydellä radasta. Kaksikerroksisten rakennusten ylimmän lattian värähtelyn arvioitiin vahvistuvan 2,5-kertaiseksi sokkelin värähtelyyn nähden.

Kaksoisraiteen rakentamisen yhteydessä olemassa olevien rakennusten etäisyys lähimmästä radasta tulee monin paikoin jonkun verran lyhenemään. Etäisyyden muutoksen vaikutus on tärinätasoihin on kuitenkin kokonaisuudessaan vähäinen eikä sitä ole otettu tässä tarkastelussa tarkemmin huomioon.

Vaikka RATO:ssa asetettu vaatimustaso on selkeä, on tärinänvähentämistoimenpiteiden määrittäminen selvitysalueella vaativaa. Tähän ovat syynä asutuksen hajanaisuus ja maapohjan vaihtelu.

Pääosa tarkasteltavasta alueesta radan ympäristössä on muuta kuin asuinaluetta (liite 4). Mittauskohteiden asutus on suhteellisen suppea-alaista, joka lisää tärinän vähentämisen kustannuksia, koska vähentämistoimet on radan suunnassa tehtävä jo noin 100 – 200 metriä ennen suojattavia rakennuksia. Pääosa mitattujen alueiden rakennuksista on yksikerroksisia, joiden tärinän vähentämistarve on kaksikerroksisten rakennusten tarvetta pienempi.

Käsitys maapohjasta radan ulkopuolella perustuu pääosin valmisteilla olevaan Geologisen tutkimuslaitoksen (GTK) maaperäkartaan. Yleensä maaperäkartan tulkintaa vahvistaa maankamaran topografiatiedot: maanpinnan vaihtelut. Tarkasteltava alue on poikkeuksellisen tasainen, jolloin maapohjan ja eri maakerrosten tulkinta on tavanomaista vaativampaa. Radan ympäristön maapohjasta on niukasti tietoa tärinän vähentämisen yksityiskohtaista suunnittelua varten.

Kuvassa 10 on esitetty alustavasti tärinän vähentämisalueet. Värähtelyluokkien C ja D rajaa ei voida karttapohjalla edes likimääräisesti määrittää lukuisten epävarmuuksien vuoksi.

Vaikka viime vuosina on myös Suomessa tutkittu rautateiltä ympäristöön leviävän tärinän vähentämistä, liittyy ratkaisuihin vielä runsaasti epävarmuutta. Seuraavassa tarkastellaan kahta tärinän vähentämiskäytäntöä: paalulaattaa ja tärinän eristysseinää. Molempien rakentamisesta on Suomessa kokemusta. Koska junaliikenteen hallitseva taajuusalue oli mittauksissa alhainen, noin 5...10 Hz, eivät ratapölkkyjen tai radan alle asennettavat vaimennuselementit ole tehokkaita.

Paalulaatta vähentää nykyisen käsityksen mukaan ympäristöön leviävää tärinää noin 60...80%. Arvio on kuitenkin likimääräinen, koska vertailevia mittauksia ei ole riittävästi tehty. Suurinta vähennys on luultavasti pehmeillä savilla, joiden alapuolella on välittömästi moreeni tai kallio. Tällöin värähtelyenergia siirtyy pääosin paalun kärjen kautta kovaan pohjaan ja ympäristön tärinä jää vähäiseksi. Hiekkamailla, joita on mittauskohteissa Kleemolassa, Toukolassa ja Perävainiossa lienee vähennys esitetyn alarajoilla, koska merkittävä osa tärinästä voi siirtyä paalujen vaippavastuksen kautta ympäristöön. Paalulaatan kustannus on uudella radalla suuruusluokaltaan 2000...3000 €/ratametri. Liikennöitävillä raiteilla kustannus on noin kaksinkertainen. Kustannuksiin vaikuttavat mm. paalutusolosuhteet ja paalujen pituus.

Mikäli paalulaatta vähentää oletetusti ympäristöön siirtyvää tärinää olisi värähtelyluokkien C ja D raja kaksikerroksisilla rakennuksilla noin 50 metrin etäisyydellä radasta ja Perävainion kauimmaisen mittauspisteen olosuhteissa noin 100 metrin etäisyydellä radasta. Yksikerroksisten rakennusten vastaavat etäisyydet olisivat noin 20 ja 50 metriä.

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

Sekä stabilointi- että ponttiseinän kustannus on suuruusluokaltaan 1000....1500 €/ratametri. Tärinäneristysseinä vähentää tehtyjen tutkimusten mukaan tärinätasoa noin 50 % seinän välittömässä läheisyydessä. Kauempana seinästä vaikutus pienee ja seinän vaikutus tärinään on noin 50...80 metrin etäisyydellä vähäinen. Alustavien tarkasteluiden perusteella, eristysseinä ei vähennä riittävästi kaksikerroksisten rakennusten värähtelyä Perävainion kauimmaisen mittauspisteen olosuhteissa.

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

Tärinän vähentämiskäytöiden varmistaminen edellyttää lisätietoa käynnissä olevista tutkimuksista tai muita lisätutkimuksia ja koerakentamista.

Mahdollisen tärinäneristysratkaisun suunnittelu on tehtävä paikallisten olosuhteiden, kaavoitustilanteen, riittävien pohjatutkimusten ja muiden esiselvitysten perusteella. Kustannustehokkaiden ratkaisuiden valitsemisessa on otettava huomioon se miten moni asukas hyötyy tärinän vähentämisestä nykyisin ja mahdollisesti uudisrakentamisen kautta tulevaisuudessa.

Ratahallintokeskuksen tärinän mittausohjeen (Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin – vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen 16.11.2001) mukainen raja-arvo hyväkuntoisille rakennuksille on > 4...6 mm/s. Tällöin raja-arvo on ilmoitettu tärinän suurimpana arvona, huippuarvona. Rautatietärinästä ei ole odotettavissa haittaa rakennuksille ja rakenteille.

Matti Hakulinen
TKL

LIITE 1 VÄRÄHTELYN TUNNUSLUVUT KLEEMOLASSA

MP1 Mittaus sokkelista noin 40 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 19.marras | 16.50 |
| 2 | 0,09 | 0,03 | 0,16 | 20.marras | 17.18 |
| summa | 0,17 | 0,08 | 0,24 | | |
| keskiarvo | 0,09 | 0,04 | 0,12 | | |
| hajonta | 0,000 | 0,000 | 0,002 | | |
| v w95 | 0,09 | 0,04 | 0,12 | | |
| Luokka | A | A | B | | |

MP2 Mittaus maassa noin 40 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,09 | 0,03 | 0,06 | 19.marras | 20.21 |
| 2 | 0,12 | 0,03 | 0,18 | 20.marras | 17.18 |
| summa | 0,21 | 0,06 | 0,24 | | |
| keskiarvo | 0,11 | 0,03 | 0,12 | | |
| hajonta | 0,000 | 0,000 | 0,005 | | |
| v w95 | 0,11 | 0,03 | 0,13 | | |
| Luokka | B | A | B | | |

LIITE 2 VÄRÄHTELYN TUNNUSLUVUT TOUKOLASSA

MP1 Mittaus sokkelista noin 60 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | Vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,08 | 0,1 | 0,09 | 17.marras | 17.30 |
| 2 | 0,13 | 0,18 | 0,22 | | 18.07 |
| 3 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | | 22.28 |
| 4 | 0,09 | 0,12 | 0,24 | 18.marras | 00.34 |
| 5 | 0,07 | 0,17 | 0,06 | | 05.59 |
| 6 | 0,09 | 0,09 | 0,1 | | 07.41 |
| 7 | 0,09 | 0,13 | 0,08 | | 09.27 |
| 8 | 0,14 | 0,13 | 0,2 | | 10.50 |
| 9 | 0,14 | 0,11 | 0,14 | | 18.42 |
| 10 | 0,14 | 0,09 | 0,09 | 19.marras | 00.37 |
| 11 | 0,16 | 0,22 | 0,12 | | 03.22 |
| 12 | 0,18 | 0,11 | 0,11 | | 07.56 |
| summa | 1,39 | 1,53 | 1,51 | | |
| keskiarvo | 0,12 | 0,13 | 0,13 | | |
| hajonta | 0,004 | 0,006 | 0,012 | | |
| v w95 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | | |
| Luokka | B | B | C | | |

MP2 Mittaus maasta noin 60 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | Vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------|
| 1 | 0,13 | 0,13 | 0,09 | 17.marras | 17.30 |
| 2 | 0,22 | 0,2 | 0,24 | | 18.07 |
| 3 | 0,13 | 0,08 | 0,11 | | 22.28 |
| 4 | 0,18 | 0,1 | 0,22 | 18.marras | 00.34 |
| 5 | 0,11 | 0,14 | 0,13 | | 05.59 |
| 6 | 0,1 | 0,09 | 0,11 | | 0+7.41 |
| 7 | 0,16 | 0,14 | 0,15 | | 09.28 |
| 8 | 0,28 | 0,18 | 0,26 | | 10.51 |
| 9 | 0,19 | 0,09 | 0,11 | | 16.53 |
| 10 | 0,22 | 0,15 | 0,22 | | 18.42 |
| 11 | 0,17 | 0,1 | 0,16 | 19.marras | 00.27 |
| 12 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | | 03.22 |
| 13 | 0,21 | 0,12 | 0,15 | | 07.56 |
| summa | 2,33 | 1,75 | 2,17 | | |
| keskiarvo | 0,18 | 0,13 | 0,17 | | |
| hajonta | 0,009 | 0,007 | 0,011 | | |
| v w95 | 0,20 | 0,15 | 0,19 | | |
| Luokka | C | C | C | | |

MP3 Mittaus sokkelista noin 110 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | Vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,19 | 0,13 | 0,11 | 17.marras | 18.07 |
| 2 | 0,12 | 0,14 | 0,1 | 18.marras | 00.34 |
| 3 | 0,07 | 0,1 | 0,07 | | 07.42 |
| 4 | 0,06 | 0,11 | 0,07 | | 09.27 |
| 5 | 0,07 | 0,11 | 0,13 | | 10.51 |
| 6 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | | 16.04 |
| 7 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | | 16.50 |
| 8 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | | 18.42 |
| 9 | 0,07 | 0,13 | 0,08 | 19.marras | 00.36 |
| 10 | 0,14 | 0,17 | 0,13 | | 3.22 |
| 11 | 0,16 | 0,12 | 0,11 | | 7.56 |
| summa | 1,12 | 1,27 | 0,98 | | |
| keskiarvo | 0,10 | 0,12 | 0,09 | | |
| hajonta | 0,010 | 0,005 | 0,006 | | |
| v w95 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | | |
| Luokka | B | B | B | | |

MP4 Mittaus maasta noin 110 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | Vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,22 | 0,14 | 0,13 | 17.marras | 18.07 |
| 2 | 0,2 | 0,09 | 0,08 | 18.marras | 00.34 |
| 3 | 0,09 | 0,13 | 0,05 | | 05.59 |
| 4 | 0,11 | 0,1 | 0,06 | | 07.41 |
| 5 | 0,06 | 0,13 | 0,03 | | 09.27 |
| 6 | 0,18 | 0,14 | 0,11 | | 10.50 |
| 7 | 0,03 | 0,11 | 0,04 | | 16.04 |
| 8 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | | 20.37 |
| 9 | 0,11 | 0,14 | 0,07 | 19.marras | 00.37 |
| 10 | 0,18 | 0,17 | 0,14 | | 03.22 |
| 11 | 0,16 | 0,12 | 0,16 | | 07.56 |
| summa | 1,41 | 1,29 | 0,9 | | |
| keskiarvo | 0,13 | 0,12 | 0,08 | | |
| hajonta | 0,012 | 0,005 | 0,006 | | |
| v w95 | 0,15 | 0,13 | 0,09 | | |
| Luokka | C | B | A | | |

MP5 Mittaus sokkelista noin 200 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | Vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,13 | 0,11 | 0,1 | 17.marras | 18.07 |
| 2 | 0,14 | 0,1 | 0,07 | 18.marras | 00.34 |
| 3 | 0,15 | 0,12 | 0,07 | | 10.50 |
| 4 | 0,13 | 0,08 | 0,06 | | 18.43 |
| 5 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 19.marras | 00.37 |
| 6 | 0,08 | 0,18 | 0,07 | | 03.22 |
| 7 | 0,07 | 0,16 | 0,08 | | 07.56 |
| summa | 0,78 | 0,84 | 0,54 | | |
| keskiarvo | 0,11 | 0,12 | 0,08 | | |
| hajonta | 0,003 | 0,003 | 0,000 | | |
| v w95 | 0,12 | 0,13 | 0,08 | | |
| Luokka | B | B | B | | |

MP6 Mittaus maasta noin 200 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | Vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,11 | 0,11 | 0,08 | 17.marras | 18.07 |
| 2 | 0,12 | 0,09 | 0,05 | 18.marras | 00.34 |
| 3 | 0,06 | 0,13 | 0,08 | | 10.51 |
| 4 | 0,03 | 0,1 | 0,08 | | 16.04 |
| 5 | 0,07 | 0,1 | 0,08 | 19.marras | 00.37 |
| 6 | 0,08 | 0,18 | 0,07 | | 03.22 |
| 7 | 0,07 | 0,14 | 0,07 | | 07.56 |
| summa | 0,54 | 0,85 | 0,51 | | |
| keskiarvo | 0,08 | 0,12 | 0,07 | | |
| hajonta | 0,002 | 0,002 | 0,000 | | |
| v w95 | 0,08 | 0,13 | 0,07 | | |
| Luokka | A | B | | | |

LIITE 3 VÄRÄHTELYN TUNNUSLUVUT PERÄVAINIOSSA

MP1 Mittaus sokkelista noin 50 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,09 | 0,1 | 0,11 | 15.marras | 22.06 |
| 2 | 0,21 | 0,28 | 0,32 | 16.marras | 00.29 |
| 3 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | | 01.58 |
| 4 | 0,2 | 0,23 | 0,36 | | 11.12 |
| 5 | 0,14 | 0,1 | 0,21 | | 16.47 |
| 6 | 0,22 | 0,28 | 0,2 | | 18.46 |
| 7 | 0,09 | 0,11 | 0,1 | | 21.43 |
| summa | 1,03 | 1,19 | 1,41 | | |
| keskiarvo | 0,15 | 0,17 | 0,20 | | |
| hajonta | 0,009 | 0,018 | 0,025 | | |
| v w95 | 0,16 | 0,20 | 0,25 | | |
| Luokka | C | C | C | | |

MP2 Mittaus maasta noin 50 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,12 | 0,17 | 0,13 | 15.marras | 22.06 |
| 2 | 0,15 | 0,24 | 0,19 | 16.marras | 00.29 |
| 3 | 0,13 | 0,14 | 0,12 | | 01.58 |
| 4 | 0,07 | 0,07 | 0,11 | | 03.42 |
| 5 | 0,31 | 0,3 | 0,23 | | 07.51 |
| 6 | 0,23 | 0,34 | 0,17 | | 11.12 |
| 7 | 0,13 | 0,17 | 0,12 | | 16.47 |
| 8 | 0,19 | 0,33 | 0,25 | | 18.46 |
| 9 | 0,13 | 0,17 | 0,15 | | 21.43 |
| 10 | 0,22 | 0,43 | 0,34 | | 00.34 |
| 11 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | | 02.19 |
| 12 | 0,2 | 0,15 | 0,31 | | 03.18 |
| 13 | 0,17 | 0,21 | 0,25 | | 08.19 |
| 14 | 0,34 | 0,33 | 0,51 | | 11.00 |
| 15 | 0,18 | 0,28 | 0,22 | | 12.53 |
| summa | 2,69 | 3,44 | 3,22 | | |
| keskiarvo | 0,18 | 0,23 | 0,21 | | |
| hajonta | 0,019 | 0,038 | 0,043 | | |
| v w95 | 0,21 | 0,30 | 0,29 | | |
| Luokka | C | C | C | | |

MP3 Mittaus sokkelista noin 80 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,24 | 0,13 | 0,19 | 16.marras | 00.29 |
| 2 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | | 01.58 |
| 3 | 0,24 | 0,11 | 0,16 | | 07.52 |
| 4 | 0,13 | 0,1 | 0,2 | | 11.12 |
| 5 | 0,08 | 0,1 | 0,08 | | 16.47 |
| 6 | 0,12 | 0,12 | 0,23 | | 18.46 |
| 7 | 0,07 | 0,09 | 0,06 | | 21.43 |
| 8 | 0,16 | 0,11 | 0,22 | 17.marras | 00.34 |
| 9 | 0,18 | 0,11 | 0,1 | | 03.18 |
| 10 | 0,18 | 0,19 | 0,28 | | 08.19 |
| 11 | 0,35 | 0,15 | 0,25 | | 11.08 |
| 12 | 0,19 | 0,14 | 0,16 | | 12.53 |
| summa | 2,01 | 1,42 | 2,02 | | |
| keskiarvo | 0,17 | 0,12 | 0,17 | | |
| hajonta | 0,022 | 0,003 | 0,017 | | |
| v w95 | 0,21 | 0,12 | 0,20 | | |
| Luokka | C | B | C | | |

MP4 Mittaus maasta noin 80 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,09 | 0,09 | 0,11 | 15.marras | 22.06 |
| 2 | 0,23 | 0,13 | 0,15 | 16.marras | 00.29 |
| 3 | 0,11 | 0,07 | 0,1 | | 01.58 |
| 4 | 0,09 | 0,06 | 0,09 | | 03.42 |
| 5 | 0,27 | 0,12 | 0,14 | | 07.52 |
| 6 | 0,18 | 0,2 | 0,16 | | 11.12 |
| 7 | 0,13 | 0,09 | 0,11 | | 16.47 |
| 8 | 0,15 | 0,2 | 0,23 | | 18.46 |
| 9 | 0,11 | 0,09 | 0,12 | | 21.43 |
| 10 | 0,25 | 0,13 | 0,16 | 18.marras | 00.34 |
| 11 | 0,09 | 0,08 | 0,1 | | 02.19 |
| 12 | 0,18 | 0,1 | 0,1 | | 03.18 |
| 13 | 0,2 | 0,11 | 0,24 | | 08.19 |
| 14 | 0,29 | 0,17 | 0,24 | | 11.08 |
| 15 | 0,19 | 0,15 | 0,14 | | 12.53 |
| summa | 2,56 | 1,79 | 2,19 | | |
| keskiarvo | 0,17 | 0,12 | 0,15 | | |
| hajonta | 0,013 | 0,006 | 0,005 | | |
| v w95 | 0,19 | 0,13 | 0,16 | | |
| Luokka | C | B | C | | |

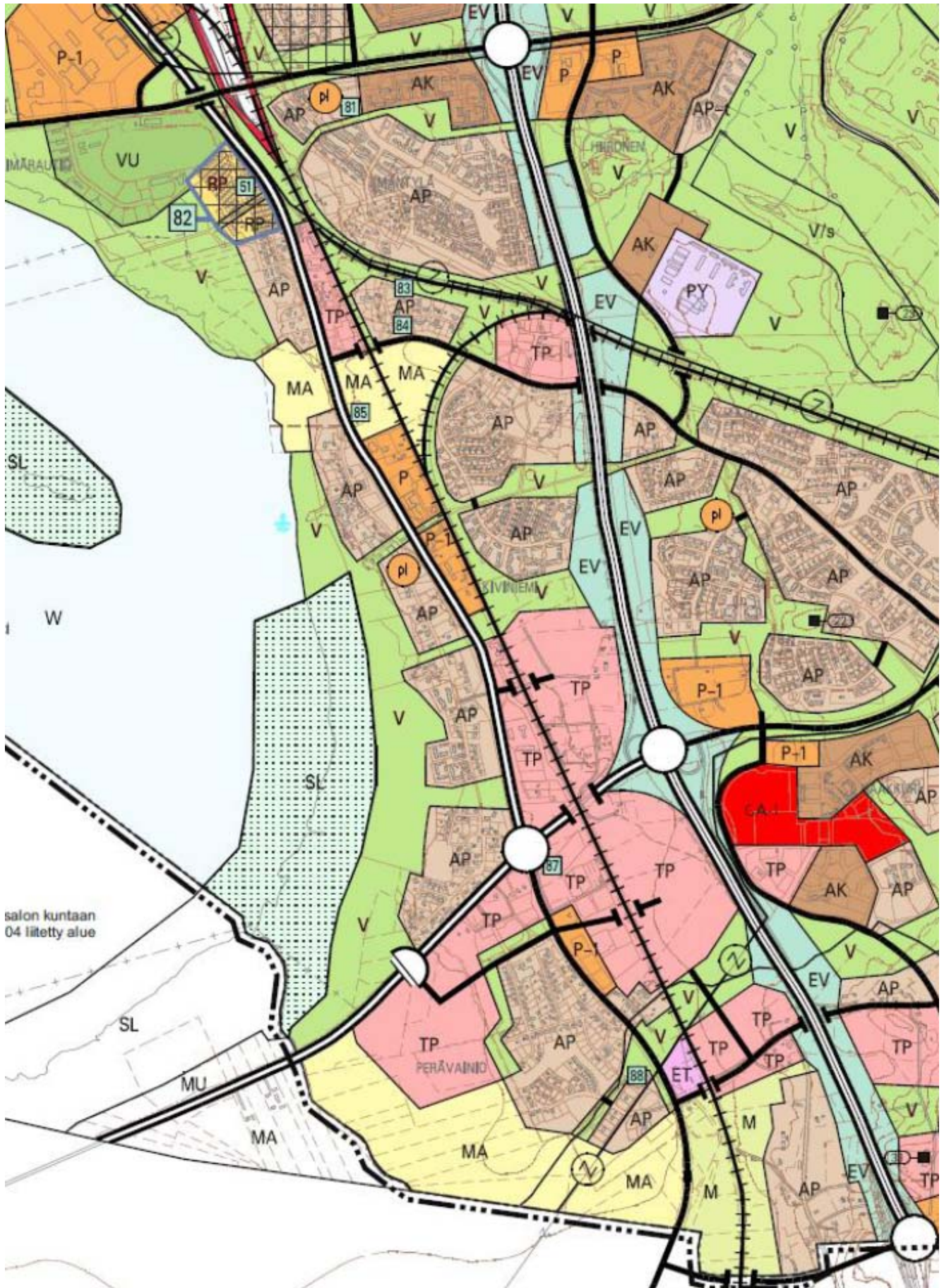
MP5 Mittaus sokkelista noin 160 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,04 | 0,15 | 0,04 | 15.marras | 22.06 |
| 2 | 0,08 | 0,29 | 0,14 | 16.marras | 00.29 |
| 3 | 0,04 | 0,16 | 0,05 | | 01.58 |
| 4 | 0,26 | 0,2 | 0,13 | | 07.52 |
| 5 | 0,12 | 0,23 | 0,1 | | 11.12 |
| 6 | 0,05 | 0,11 | 0,05 | | 16.47 |
| 7 | 0,09 | 0,32 | 0,11 | | 18.46 |
| 8 | 0,06 | 0,4 | 0,13 | 17.marras | 00.34 |
| 9 | 0,09 | 0,27 | 0,14 | | 08.19 |
| 10 | 0,28 | 0,41 | 0,25 | | 11.08 |
| 11 | 0,16 | 0,24 | 0,09 | | 12.53 |
| summa | 1,27 | 2,78 | 1,23 | | |
| keskiarvo | 0,12 | 0,25 | 0,11 | | |
| hajonta | 0,021 | 0,029 | 0,010 | | |
| v w95 | 0,15 | 0,30 | 0,13 | | |
| Luokka | C | D | B | | |

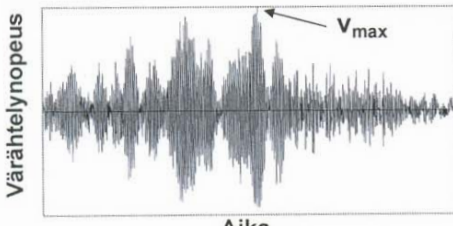
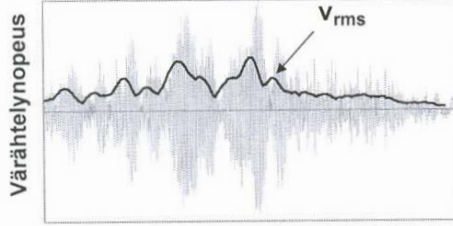
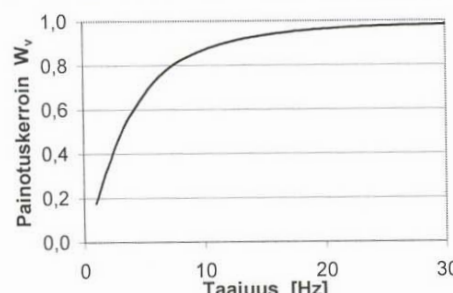
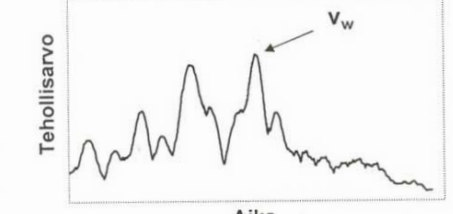
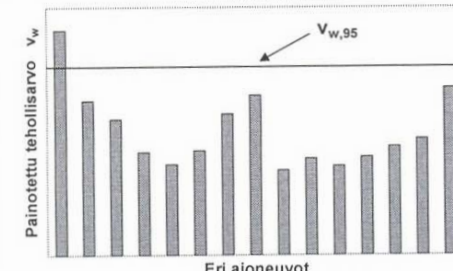
MP6 Mittaus maasta noin 160 metrin etäisyydellä radasta

| Mittaus | tran | vert | long | pvm | klo |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1 | 0,06 | 0,12 | 0,08 | 15.marras | 22.06 |
| 2 | 0,09 | 0,27 | 0,1 | 16.marras | 00.29 |
| 3 | 0,07 | 0,14 | 0,08 | | 01.58 |
| 4 | 0,32 | 0,21 | 0,21 | | 07.52 |
| 5 | 0,11 | 0,27 | 0,15 | | 11.12 |
| 6 | 0,13 | 0,31 | 0,2 | | 16.47 |
| 7 | 0,18 | 0,37 | 0,21 | | 18.46 |
| 8 | 0,22 | 0,16 | 0,08 | 17.marras | 00.34 |
| 9 | 0,1 | 0,21 | 0,13 | | 08.19 |
| 10 | 0,29 | 0,42 | 0,28 | | 11.08 |
| 11 | 0,18 | 0,23 | 0,13 | | 12.53 |
| summa | 1,75 | 2,71 | 1,65 | | |
| keskiarvo | 0,16 | 0,25 | 0,15 | | |
| hajonta | 0,023 | 0,027 | 0,013 | | |
| v w95 | 0,20 | 0,29 | 0,17 | | |
| Luokka | C | C | C | | |

LIITE 4, OULUN YLEISKAAVA 2020



LIITE 5, TÄRINÄN KUVAAMISEN KÄSITTEITÄ

| | |
|--|---|
|  <p>Värähtelynopeus</p> <p>Aika</p> | <p>Värähtelyn huippuarvo v_{max} [mm/s]</p> <p>Mitatun värähtelysignaalin itseisarvoltaan suurin arvo. Vakioamplitudisella värähtelyllä huippuarvo on sama kuin värähtelyn amplitudi.</p> |
|  <p>Värähtelynopeus</p> <p>Aika</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>Painotuskertoin W_v</p> <p>Taajuus [Hz]</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>Tehollisarvo</p> <p>Aika</p> | <p>Painotettu värähtelyn tehollisarvo v_w [mm/s]</p> <p>Taajuuspainotetusta värähtelysignaalista $v_w(t)$ määritetty suurin tehollisarvo.</p> |
|  <p>Painotettu tehollisarvo v_w</p> <p>Eri ajoneuvot</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> |

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

$v_{w,ka}$
 σ

on 15 suurimman värähtelyn keskiarvo
on 15 suurimman värähtelyn keskihajonta