

Hyvinkään kaupunki
Tekninen keskus
Suutarinkatu 2
05801 Hyvinkää

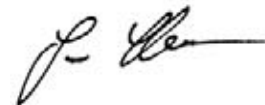
Helsinki 2.5.2011

Sivu 1 (20) + liitteet (48)

HANGONRATAPIHA-ALUE, HYVINKÄÄ
RAIDELIIKENNETÄRINÄSELVITYS

Hyvinkään kaupunki

Raportin vakuudeksi



Jani Kankare
Toimitusjohtaja, FM



HELSINKI

Porvoonkatu 9 A
00510 HELSINKI
puh (09) 321 2228
fax (09) 328 1050

www.promethor.fi

TURKU

Rautakatu 5 A 6
20520 TURKU
puh (02) 467 5110
fax (02) 467 5118

promet@promethor.fi

Sisällysluettelo

1	Yleistä.....	4
2	Mittaus- ja arviointimenetelmät	4
3	Mittauslaitteet	5
4	Tärinän suositusarvot.....	5
	4.1 Tärinän suositusarvot rakennusten vaurioriskin kannalta	5
	4.2 Tärinän suositusarvot asumisviihtyvyyden kannalta asuinrakennuksissa	6
	4.3 Tärinän suositusarvot käyttöviihtyvyyden kannalta toimisto- ja koulurakennuksissa.....	7
	4.4 Runkomelun suositusarvot	7
5	Selvitysalue ja Mittauspisteet	8
6	Mittaustulokset	10
	6.1 Värähtelyn heilahdusnopeuden resultantti v_{res}	10
	6.2 Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$	11
	6.3 Värähtelyn taajuussisältö	12
	6.4 Arvio runkomelun enimmäistasosta.....	13
7	Maasta rakennukseen siirtyvän tärinän arviointi	14
	7.1 Rakennuksen rungon värähtely	14
	7.2 Rakennuksen lattian värähtely	15
8	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	15
	8.1 Tärinän aiheuttama rakennusten vaurioitumisriski	15
	8.2 Tärinän vaikutus asumisviihtyvyyteen (tärinän vaikutusalueet).....	16
	8.3 Tärinän aiheuttama runkomelu	17
	8.4 Hangonratapiha-alueen koulutontti.....	18
	8.5 Muita huomioita	18
9	Liikennetärinän vaimennus.....	18
	9.1 Muottikadun alue	19
10	Kirjallisuutta	20
11	Lisätietoja	20
	Liite 1 Tärinän vaikutusaluekartat	
	Liite 2 Tärinän leviämisen sovituskvaajat mittauslinjoittain	
	Liite 3 Mittauspisteet ja mittaustulokset kartalla	
	Liite 4 Mittauspisteiden tulossivut	
	Liite 5 Mittauspisteiden runkomelutulossivut	
	Liite 6 Junatiedot	

TIIVISTELMÄ

Hangonratapiha-alue on kaavailtu muutettavaksi rautatien liikennealueesta asuntoalueeksi. Hangonratapiha-alueen rataosuus sijaitsee Hyvinkään rautatieaseman eteläpuolella Karjaan suuntaan lähtevällä raiteella ja pituutta selvitysalueella on noin 1 kilometri. Tällä hetkellä rataosuudella liikennöi vain tavarajunia. Tässä selvityksessä on määritetty raideliikenteen aiheuttama tärinä Hangonratapiha-alueella. Selvitysalueeseen kuuluu myös radan vastakkaisella puolella sijaitseva Muottikadun alue. Selvitys toimii Hangonratapiha-alueen kehitystyön pohjana. Hyvinkään kaupungilta työtä on ohjannut Mika Ahonen.

Raideliikenteen aiheuttamaa tärinää mitattiin seitsemässätoista (17) pisteessä maasta ja kolmessa pisteessä olemassa olevasta rakennuksesta. Mittauksilla selvitettiin tärinän voimakkuus uusien rakennusten vaurioitumisriskin, tilojen käyttö- ja asumisviihtyvyyden sekä runkomelun kannalta. Selvityksen tuloksia on tarkasteltu VTT:n esittämiä suositusarvoja käyttäen.

Suoritettujen mittausten mukaan raideliikenne aiheuttaa maankäytön suunnittelussa huomioon otettavaa tärinää. Rakennusten vaurioriski rajoittuu lähelle rataa suojaetäisyyden ollessa suurimmillaan 25 m. Tilojen käyttö- ja asumisviihtyvyyden kannalta määritetyn asuinrakennusten suojaetäisyyden voidaan arvioida olevan noin kymmenestä metristä kahdeksaankymmeneen metriin.

Mittaustulosten perusteella laadittiin tärinän vaikutusaluekartta. Lähimpänä rataa olevalla alueella asuinrakentamisen on arvioitu vaativan tärinänvaimennustoimenpiteitä. Kauimmaiselle alueelle voidaan asuinrakennuksia sijoittaa ilman vaimennustoimenpiteitä ja lisätutkimuksia. Kahdella keskimmaisella alueella tulee tehdä lisätutkimuksia. Alueiden jakaantuminen tärinän voimakkuuden perusteella on esitetty selvityksen liitekartassa.

Tärinäselvityksen lopussa on annettu esimerkkejä tärinänvaimennusvaihtoehdoista savi-maille ja karkeammille maalajeille sijoitettaville rakennuksille.

1 YLEISTÄ

Promethor Oy mittasi 24.1.–7.2.2010 raideliikenteen aiheuttamaa tärinää Hyvinkäällä Hangonratapiha-alueen ympäristössä. Mittauksia suoritettiin seitsemässätoista (17) pisteessä maasta ja kolmessa pisteessä olemassa olevasta rakennuksesta. Mittausjakson pituus kaikissa mittauspisteissä oli yksi (1) viikko. Mittauksilla selvitettiin tärinän voimakkuus kohteessa

- 1) rakennusten vaurioitumisriskin ja
- 2) tilojen käyttö- ja asumisviihtyvyyden kannalta.

Mittaustuloksista arvioitiin lisäksi laskennallisesti tärinän aiheuttama runkomelutaso tyypillisessä asuinhuoneessa.

Mittalaitteiston asensi Kimmo Kokki, Matti Keränen ja Toni Niiniviita Promethor Oy:stä. Selvityksen laadintaan ovat osallistuneet Kimmo Kokki, Olli Laivoranta ja Jani Kankare. Hyvinkään kaupungilta työtä on ohjannut Mika Ahonen.

2 MITTAUS- JA ARVIOINTIMENETELMÄT

Tärinämittaukset suoritettiin VTT:n tiedotteen "Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta" mukaisesti. Mittaustulosten analysointi ja tulkinta ihmisen kokeman tärinähaitan kannalta tehtiin VTT:n ohjeiden "Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta" ja "Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa" mukaan. Mittaustulosten tulkinta rakenteiden vaurioitumisriskin kannalta tehtiin VTT:n ohjeen "Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin – Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen" mukaan. Kyseisiä ohjeita voidaan käyttää tie- ja raideliikennetärinän arvioinnissa.

Rakenteiden vaurioriskiä arvioitiin värähtelyn taajuuspainottamattoman heilahdusnopeuden resultantin maksimiarvon v_{res} avulla. Se määritettiin nopeussignaaleista, jotka saatiin integroimalla mitatut kiihtyvyyssignaalit.

Ihmisen kokeman häiriön kuvaamiseksi tärinäsignaaleista laskettiin tunnusluku $v_{w,95}$ VTT:n suositusten mukaan*. Mitatut tärinäsignaalit taajuuspainotettiin standardin ISO 2631-2 mukaisella kokokehontärinän painotusfunktiolla, minkä jälkeen niistä laskettiin liukuvan tehollisarvon maksimit $v_{w,max}$. Näistä valittiin 15 suurinta, joiden perusteella laskettiin tunnusluku $v_{w,95}$. Värähtelyn tunnusluvulla $v_{w,95}$ tarkoitetaan arvoa, jota pienempänä suurimpien painotettujen värähtelynopeuksien tehollisarvo pysyy 95 prosentin tilastollisella todennäköisyydellä.

Mittaus suoritettiin miehittämättömänä eli mittauslaitteisto toimi itsenäisesti. Herätekyynnyksen ylitettyä mittausignaali tallentui laitteen muistiin, josta se analysointiin

* VTT:n suosituksesta poiketen tunnuslukujen laskennassa 15 suurinta signaalia valitaan kustakin akselisuunnasta erikseen. VTT:n suosituksessa suurimmat signaalit valitaan pystysuuntaisten signaalien mukaan kaikille akselisuunnille. Kun käytetyt signaalit valitaan kustakin akselisuunnasta erikseen, laskettu tunnusluku on aina yhtä suuri tai suurempi kuin pystyakselin mukaan valituista signaaleista laskettu. Pystysuunnan mukaan määritetyistä signaaleista lasketut vaakasuuntaiset tunnusluvut saattavat olla todellista pienempiä, erityisesti kun vaakasuuntainen tärinä on merkittävää.

myöhemmin. Signaalien pääteltiin olevan raide- tai tieliikenteen aiheuttamia mm. tärinäsignaalien kestoajan, muodon ja amplitudin perusteella.

Suomessa ei ole standardoitua menetelmää runkomelun arviointiin. Tässä raportissa raideliikenteen aiheuttamaa runkomelua arvioidaan VTT:n tiedotteen 2468 ”Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi” mukaisesti. Arvio määritetään slow-aikavakiolla määritetyistä A-painotetuista maasta mitatuista nopeussignaaleista käyttämällä referenssinopeutena 1 nm/s ja muuttamalla saatu tulos runkomelutasoksi VTT:n tiedotteen mukaisia lisätekiöitä käyttäen.

Maasta rakennukseen siirtyvää tärinää arvioidaan VTT:n tiedotteen 2425, ”Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi”, 2008, mukaisesti, sekä selvityskohteen kohdalla radan vastakkaisella puolella olevaa rakennusta referenssikohteenä käyttäen. VTT Working papers 50, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, 2006, mukaan varmin arvio rakennuksen värähtelystä saadaan, kun tärinää mitataan suoraan edustavasta vertailukohteesta.

Tärinän geometristä vaimennusta arvioidaan VTT:n tiedotteen 2777 ”Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa”, 2006, mukaisesti. Liitteessä 2 esitetyt vaimennuskäyrät on laskettu kaavalla 1,

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^\beta e^{\alpha(r_1 - r_2)}, \quad (1)$$

jossa A_1 on tärinäamplitudin suuruus etäisyydellä r_1 ja A_2 on tärinäamplitudin suuruus etäisyydellä r_2 tärinäkohteesta. Tekijä β kuvaa geometristä vaimennusta ja α kuvaa sisäistä vaimennusta.

3 MITTAUSLAITTEET

Mittauksissa käytetyt laitteet olivat

- datatallentimet Rion DA-20
- kiihtyvyyssanturit Metra KS-48B/C.

4 TÄRINÄN SUOSITUSARVOT

4.1 Tärinän suositusarvot rakennusten vaurioriskin kannalta

Suomessa rakennusten rakenteiden vaurioriskille ei ole toistaiseksi annettu virallisia raja-arvoja. VTT:n tiedotteen ”Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin, 2002” mukaan rakennusten vaurioriskiä voidaan arvioida värähtelyn heilahdusnopeuden resultantin suurimman arvon v_{res} ja hallitsevan taajuuden avulla. Tiedotteessa on annettu taulukon 1 mukaiset suositusarvot rakennusten vaurioitumisalttiuden arvioimiseksi.

Taulukko 1. VTT:n tiedotteessa "Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin, 2002" annetut suositusarvot tärinän aiheuttamalle rakennusten vaurioriskille.

Tärinäalttiusluokka	Hallitseva taajuus [Hz]	Resultantin maksimi v_{res} [mm/s]
I. Normaalkuntoiset hyvin jäykistetyt rakennukset. Teräs- ja betoniset teollisuusrakennukset, muut teräsrakenteet, sillat ja muut niihin rinnastettavat rakenteet.	< 10	8
	10...30	10
	> 30	12
II. Perinteisesti rakennetut betoni-, tiili- tai puurakenteiset asuin- ja liikerakennukset tai muut niihin rinnastettavat rakennukset ja rakenteet. Luokan I rakennukset, joissa on muurattuja kellariseiniä tai tiiliverhoilu.	< 10	4
	10...30	5
	> 30	6
III. Erityisen herkäät rakennukset tai rakenteet ja kulttuurihistoriallisesti tai yhteiskunnallisesti merkittävät rakennukset.	< 10	2
	10...30	3
	> 30	4

4.2 Tärinän suositusarvot asumisviihtyvyyden kannalta asuinrakennuksissa

Ympäristönsuojelulaissa (nro 86/2000) ja Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (osa B3, 2004) veloitetaan ottamaan liikennetärinän vaikutukset huomioon muun muassa kaavoituksessa. Suomessa ei kuitenkaan ole virallisia raja-arvoja liikenteen aiheuttamalle kokokehon tärinälle, joka kohdistuu ihmisiin rakennuksissa.

VTT on antanut suosituksen normaalien asuinrakennusten värähtelyluokituksesta tunnuslukuun $v_{w,95}$ perustuen tiedotteessa 2278 "Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta". Tämä ohjeellinen värähtelyluokitus on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. VTT:n tiedotteessa 2278 "Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta" annettu suositus normaalien asuinrakennusten värähtelyluokituksista.

Värähtelyluokka	Olosuhteet	Värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyä.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet <i>Ihmiset voivat havaita värähtelyn, mutta ne eivät ole häiritseviä.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien asuinrakennusten ja väylien suunnittelussa <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,60$

4.3 Tärinän suositusarvot käyttöviihtyvyyden kannalta toimisto- ja koulurakennuksissa.

Toimisto- ja koulurakennuksille ei ole annettu selkeitä suositusarvoja. Kyseisille tiloille esitetyt suositusarvot vaihtelevat 0,6...1,2 mm/s välillä suosituksen esittäjästä ja lähdeetoksesta riippuen.

Tässä lausunnossa värähtelyn tunnusluvun suositusarvona käytetään

- koulurakennuksissa 0,6 mm/s
- toimistorakennuksissa 0,9 mm/s.

4.4 Runkomelun suositusarvot

Suomessa ei ole virallisia raja-arvoja runkomelun enimmäistasolle. VTT:n tiedotteessa 2468 ”Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, 2009” on esitetty suositus runkomelutasojen raja-arvoiksi. Suositusarvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. VTT:n tiedotteessa 2468 ”Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, 2009” esitetty suositus runkomelutasojen raja-arvoiksi.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm} [dB]
Radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttisalit	25–30
Asuinhuoneistot	30/35*
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat <ul style="list-style-type: none"> • potilashuoneet, majoitustilat • päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitettut huoneet 	30/35*
Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> • luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä • muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot 	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45*

*Avoradat. Mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmastoineristävyydestä, on VTT:n ohjeen mukaan suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.

5 SELVITYSALUE JA MITTAUSPISTEET

Tärinää mitattiin 17 mittauspisteessä maasta ja kolmessa (3) mittauspisteessä olemassa olevista rakennuksista. Kaikki mittaukset suoritettiin 3-akselisena. Taulukossa 4 on esitetty mittauspisteiden etäisyydet pääradasta ja koordinaatit. Mittauspisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 1. Mittauspisteiden sijainneissa on varmuusvaraa ± 5 m.

Referenssimittauspisteissä mitattiin tärinää rakennuksien lattialta. Mittauksilla selvitettiin kuinka maaperän tärinä siirtyy rakennuksiin kyseisissä kohteissa.

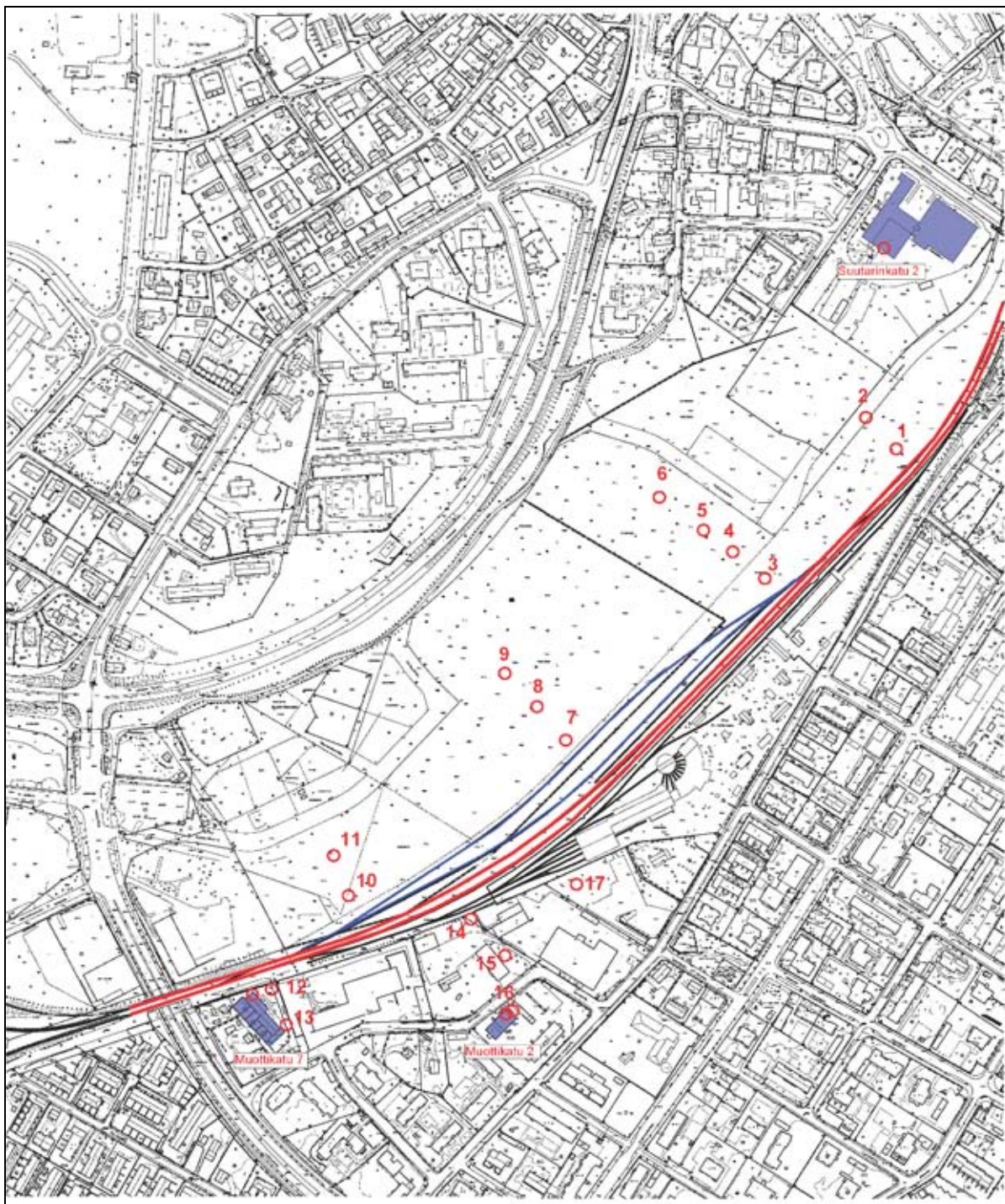
Mittauspisteissä maahan upotettiin 500 mm pituinen ja 20 mm paksuinen terästanko, jonka päähän kiihtyvyyssanturit asennettiin. Referenssimittauspisteissä kiihtyvyyssanturit kiinnitettiin lattialle asetettuun raskaaseen asennuselementtiin. Myöhemmin tässä raportissa tärinän mittaussuunnista pystyakselia nimitetään z -suunnaksi, vaakasuuntaista junarataa vastaan kohtisuoraa akselia y -suunnaksi ja radan suuntaista akselia x -suunnaksi.

Tilaaajalta saatujen tietojen mukaan maaperä Hanganratapiha-alueella (radan pohjoispuoli) on siltistä hiekkamoreenia, jonka päällä on 1,5...3,5 m paksuinen turvekerros. Turvekerros on syvimmillään alueen keskiosassa noin 3 m. Turpeen päällä on keskimäärin noin 1 m paksuinen täyttömaakerros. Sen paksuun vaihtelee 0,4...1,8m.

Taulukko 4. Mittauspisteiden etäisyydet pääradasta ja koordinaatit.

Mittauspiste	Etäisyys pääraiteesta [m]	Koordinaatit	
		Latitudi	Longitudi
mp1	35	60° 37.730'	24° 51.205'
mp2	75	60° 37.750'	24° 51.173'
mp3	30	60° 37.651'	24° 51.047'
mp4	75	60° 37.667'	24° 51.029'
mp5	115	60° 37.685'	24° 50.999'
mp6	170	60° 37.706'	24° 50.950'
mp7	50	60° 37.564'	24° 50.829'
mp8	100	60° 37.582'	24° 50.800'
mp9	145	60° 37.595'	24° 50.767'
mp10	40	60° 37.481'	24° 50.587'
mp11	80	60° 37.506'	24° 50.565'
mp12	25	60° 37.435'	24° 50.517'
mp13	60	60° 37.422'	24° 50.541'
mp14	30	60° 37.475'	24° 50.732'
mp15	75	60° 37.455'	24° 50.764'
mp16	130	60° 37.422'	24° 50.777'
mp17	60	60° 37.489'	24° 50.863'
Muottikatu 2, väestönsuoja	130	-	-

Muottikatu 7, makuuhuone	25	-	-
Suutarinkatu 2, kipsivaluhuone	130	-	-



Kuva 1. Mittauspisteiden, referenssikohteiden (sinisellä merkityt referenssirakennukset) ja raiteiden (punaisella merkityt pääraiteet) sijainnit.

6 MITTAUSTULOKSET

6.1 Värähtelyn heilahdusnopeuden resultantti v_{res}

Rakennusten vaurioitumisriskiä arvioitiin painottamattoman värähtelynnopeuden resultantin suurimman arvon avulla. Taulukossa 5 on esitetty suurimmat mitatut resultanttien arvot. Liitteessä 4 on esitetty 15 suurinta mitattua resultanttia kaikissa mittauspisteissä.

Taulukko 5. Suurimmat havaitut heilahdusnopeuden resultantin arvot v_{res} (suositusarvo 4 mm/s).

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	Resultantti [mm/s]	Pvm	Klo
mp1	35	0,4	2.2.	18.23
mp2	75	0,2	4.2.	05.09
mp3	30	0,5	4.2.	05.08
mp4	75	0,4	4.2.	05.09
mp5	115	0,2	4.2.	05.08
mp6	170	0,1	2.2.	02.43
mp7	50	0,2	4.2.	05.08
mp8	100	0,2	4.2.	05.09
mp9	145	-	-	-
mp10	40	0,4	27.1.	16.36
mp11	80	0,2	26.1.	02.48
mp12	25	3,8	28.1.	02.32
mp13	60	3,1	25.1.	07.49
mp14	30	2,4	25.1.	07.49
mp15	75	1,3	24.1.	15.02
mp16	130	0,2	27.1.	02.36
mp17	60	0,3	26.1.	02.48
Muottikatu 2, väestönsuoja	130	0,1	28.1.	02.33
Muottikatu 7, makuuhuone	25	2,0	28.1.	16.57
Suutarinkatu 2, kipsivaluhuone	130	0,2	4.2.	05.09

6.2 Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$

Ihmisen kokemaa tärinähaittaa arvioidaan tärinän tunnuslukua käyttäen. Tunnusluku määritetään taajuuspainotettujen heilahdusnopeuksien tehollisarvoista huomioimalla 15 suurinta tärinätaapahtumaa viikon aikana. Taulukossa 6 on esitetty määritetyt tunnusluvut.

Laskuissa käytetyt $v_{w,max}$ -arvot on esitetty liitteessä 4. Tunnusluvut on lisäksi esitetty karttapohjalle merkittyinä liitteessä 4.

Taulukko 6. Maasta mitatut tärinän tunnusluvut $v_{w,95}$ (uudessa asuinrakennuksessa suositusarvo $\leq 0,30$ mm/s).

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	$v_{w,95}$ [mm/s]		
		z	y	x
mp1	35	0,12	0,12	0,12
mp2	75	0,08	0,04	0,03
mp3	30	0,14	0,06	0,04
mp4	75	0,14	0,09	0,10
mp5	115	0,07	0,05	0,05
mp6	170	0,02	0,04	0,03
mp7	50	0,06	0,04	0,04
mp8	100	0,04	0,04	0,05
mp9	145	-	-	-
mp10	40	0,12	0,14	0,12
mp11	80	0,06	0,08	0,06
mp12	25	0,70	0,68	1,14
mp13	60	0,18	0,80	0,54
mp14	30	0,37	0,76	0,66
mp15	75	0,13	0,26	0,26
mp16	130	0,06	0,02	0,03
mp17	60	0,10	0,09	0,09
Muottikatu 2, väestönsuoja	130	0,04	0,03	0,02
Muottikatu 7, makuuhuone	25	0,73	0,23	0,21
Suutarinkatu 2, kipsivaluhuone	130	0,05	0,03	0,03

6.3 Värähtelyn taajuussisältö

Mitattujen värähtelysignaalien hallitsevat taajuusalueet on koottu taulukkoon 7. Taulukossa on esitetty ensiksi taajuusalue, johon värähtelyn energia rajoittuu. Tämän jälkeen suluissa on esitetty merkittävien tai merkittävimmät terssikaistat. Liitteessä 4 on esitetty värähtelyn taajuuspainotetut taajuusjakaumat terssikaistoittain VTT:n suosituksen mukaisesti.

Taulukko 7. Värähtelyn hallitsevat taajuudet eri akselisuunnissa (sulkeissa merkittävien terssikaistat).

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	Hallitsevat taajuudet [Hz]		
		z	y	x
mp1	35	< 100 (6,3 & 50)	< 100 (5 & 63)	< 100 (6,3 & 50)
mp2	75	< 160 (6,3)	< 200 (6,3 & 63)	< 100 (6,3 & 50)
mp3	30	< 125 (10)	< 160 (6,3 & 125)	< 160 (6,3 & 125)
mp4	75	< 125 (6,3)	< 125 (6,3)	< 125 (5)
mp5	115	< 100 (6,3 & 40)	< 80 (6,3 & 63)	< 125 (8 & 63)
mp6	170	< 200 (6,3 & 100)	< 160 (6,3 & 125)	< 160 (6,3 & 100)
mp7	50	< 125 (10 & 25)	< 160 (6,3 & 125)	< 160 (6,3 & 125)
mp8	100	< 50 (6,3 & 25)	< 100 (8 & 50)	< 63 (50 & 6,3)
mp9	145	-	-	-
mp10	40	< 160 (25 & 50)	< 200 (20 & 50)	< 200 (16 & 160)
mp11	80	< 125 (16 & 100)	< 125 (6,3 & 50)	< 125 (6,3)
mp12	25	< 125 (100)	< 125 (100)	< 125 (100)
mp13	60	< 125 (100)	< 125 (63)	< 125 (63)
mp14	30	< 125 (100)	< 125 (63)	< 125 (80)
mp15	75	< 160 (80)	< 160 (80)	< 160 (80)
mp16	130	< 160 (25)	< 200 (25 & 160)	< 200 (20 & 160)
mp17	60	< 100 (25)	< 160 (16 & 80)	< 100 (63)
Muottikatu 2, väestönsuoja	130	< 160 (20 & 80)	< 200 (8 & 25 & 160)	< 200 (20 & 160)
Muottikatu 7, makuuhuone	25	< 63 (31,5)	< 63 (50)	< 100 (40)
Suutarinkatu 2, kipsivaluhuone	130	(8 & 63 & 316)	(6,3 & 80 & 316)	(6,3 & 316)

6.4 Arvio runkomelun enimmäistasosta

Taulukossa 8 on esitetty runkomelun arviointitulokset mittauspisteittäin. Pystysuuntainen tärinä (z -suunta) säteilee runkoääntä vaakasuorista pinnoista eli mm. lattioista ja vaakasuuntainen tärinä (y - ja x -suunnat) pystysuorista pinnoista eli seinistä. Liitteessä 5 on esitetty laskennassa käytetyt runkomeluarvot ja korjaustekijät.

Taulukko 8. VTT:n menetelmällä tärinäsignaaleista arvioidut runkomelutasot L_{prn} (suositusarvo asuinhuoneistossa on 35 dB)

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	L_{prn} [dB]		
		z	y	x
mp1	35	37	43	44
mp2	75	27	30	35
mp3	30	32	43	37
mp4	75	31	27	28
mp5	115	24	30	30
mp6	170	26	39	33
mp7	50	40	37	39
mp8	100	17	22	23
mp9	145	-	-	-
mp10	40	42	43	45
mp11	80	28	41	37
mp12	25	68	70	73
mp13	60	54	66	62
mp14	30	60	67	67
mp15	75	48	58	57
mp16	130	35	36	34
mp17	60	37	40	45
Muottikatu 2, väestönsuoja	130	37	33	37
Muottikatu 7, makuuhuone	25	56	56	57
Suutarinkatu 2, kipsivaluhuone	130	33	29	32

Lainaus VTT:n tiedotteesta 2468, Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arvioiminen, I Esiselvitys. ”Julkaisussa esitetyt kriteerit, raja-arvot ja arviointiohjeet perustuvat pääasiassa kirjallisuuskatsaukseen ja niiden soveltuvuus tulisi varmistaa mittauksin, jotta Suomen liikennettä, väylää, maaperää ja rakentamistapaa koskevat erityispiirteet tulevat otetuksi oikein huomioon.... ..Koska värähtelyn syntymiseen ja leviämiseen vaikuttaa monia epävarmuustekijöitä, esitettyä arviointia voidaan pitää toistaiseksi vain suuntaa-antavana.”

7 MAASTA RAKENNUKSEEN SIIRTYVÄN TÄRINÄN ARVIOINTI

Maasta rakennukseen siirtyvää tärinää arvioidaan VTT:n tiedotteen 2425 ”Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi”, 2008 mukaisesti. Arviointimenetelmässä arvioidaan ensiksi maasta perustukseen siirtyvän värähtelyn vaimenemista käyttämällä taajuuskaistakohtaista kerrointa. Tämän jälkeen perustuksesta runkoon ja lattiaan siirtyvän värähtelyn vahvistumista arvioidaan käyttämällä yleisen voimistumisen ja resonanssitarkastelun kertoimia.

Yleinen voimistuminen kuvaa nimensä mukaisesti värähtelyn yleistä voimistumista rakennuksen rungossa tai lattiasa. Resonanssitarkastelu kuvaa rakennuksen rungon tai lattian ominaistajuuden ”syttymistä”, jolloin värähtely voimistuu moninkertaiseksi.

7.1 Rakennuksen rungon värähtely

Rungon värähtelyn arviointi tehdään VTT:n tiedotteen 2425, ”Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi”, 2008, mukaisesti. Rungon värähtelyä arvioidaan sekä yleiseen voimistumiseen perustuvalla menetelmällä (kerroin $k_1 = 1,5$) että rungon resonanssitarkastelulla (kerroin $k_2 = 4$). Arviointitulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. VTT:n menetelmillä tärinäsignaaleista arvioidun perustuksen värähtelyn perusteella arvioitu rungon värähtely.

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	Yleinen voimistuminen $v_{w1,runko}$ [mm/s]	Resonanssitarkastelu $v_{w2,runko}$ [mm/s]
mp1	35	0,14	0,04
mp2	75	0,10	0,02
mp3	30	0,19	0,04
mp4	75	0,19	0,07
mp5	115	0,09	0,04
mp6	170	0,04	0,02
mp7	50	0,08	0,02
mp8	100	0,07	0,05
mp9	145	-	-
mp10	40	0,14	0,08
mp11	80	0,10	0,04
mp12	25	0,97	0,23
mp13	60	0,42	0,12
mp14	30	0,50	0,10
mp15	75	0,16	0,04
mp16	130	0,06	0,01
mp17	60	0,09	0,05

7.2 Rakennuksen lattian värähtely

Lattian värähtelyn arviointi tehdään VTT:n tiedotteen 2425, Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, 2008, mukaisesti. Lattian värähtelyä arvioidaan sekä yleiseen voimistumiseen perustuvalla menetelmällä (kerroin $k_1 = 1,5$) että rungon resonanssitarkastelulla (kerroin $k_2 = 6$). Arviointitulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. VTT:n menetelmillä tärinäsignaaleista arvioidun perustuksen värähtelyn perusteella arvioitu lattian värähtely.

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	Yleinen voimistuminen $v_{w1,lattia}$ [mm/s]	Resonanssitarkastelu $v_{w2,lattia}$ [mm/s]
mp1	35	0,14	0,06
mp2	75	0,10	0,08
mp3	30	0,19	0,10
mp4	75	0,19	0,14
mp5	115	0,09	0,07
mp6	170	0,02	0,02
mp7	50	0,08	0,07
mp8	100	0,06	0,05
mp9	145	-	-
mp10	40	0,11	0,08
mp11	80	0,07	0,05
mp12	25	0,57	0,18
mp13	60	0,16	0,10
mp14	30	0,26	0,11
mp15	75	0,11	0,05
mp16	130	0,06	0,04
mp17	60	0,09	0,05

8 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Tärinän aiheuttama rakennusten vaurioitumisriski

Tulosten perusteella tärinän aiheuttama rakennusten vaurioitumisriski rajautuu kohtalaisen lähelle rataa, mutta on kuitenkin huomioitava alueiden suunnittelussa.

Tulosten perusteella vaurioriskin arvioidaan ulottuvan maksimissaan 25 metrin etäisyydelle radasta. Suurimmassa osassa tutkittuja alueita suojaetäisyys on selvästi tätä pienempi.

Jos rakennuksia sijoitetaan alle 25 metrin etäisyydelle radasta, tulee vaurioriski arvioida tarkemmin suunniteltavan rakennuksen kohdalla tehtävillä lisämittauksilla rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

8.2 Tärinän vaikutus asumisviihtyvyyteen (tärinän vaikutusalueet)

Tutkittujen alueiden soveltuvuutta asuinrakentamiseen on havainnollistettu jakamalla alue rakennuksen (mittaustulosten perusteella arvioidun) värähtelyn tunnusluvun $v_{w,95}$ ja arvioidun lisäselvitystarpeen perusteella neljään luokkaan. Alueiden jakautuminen eri luokkiin on esitetty liitteessä 1. Liitteessä 2 on esitetty alueiden jakamisessa käytetyt tärinän leviämisen sovituskäyrät.

Alueiden jaon lähtökohtana on, että uusien asuinrakennuksien lattioiden ja rungon tärinän tunnusluvun arvo ei ylitä suositusarvoa 0,30 mm/s (asuinrakennukset). Aluerajauksia määritettäessä on otettu huomioon tärinän vahvistuminen ja vaimeneminen siirtyessään maasta rakennukseen.

Liitteen 1 karttaan on **punaisella** merkitty **tärinän kriittinen vaikutusalue**:

- Tälle alueelle ei suositella asuinrakentamista.
- Asuinrakennusten rakentaminen alueelle todennäköisesti edellyttää merkittäviä vaimennustoimenpiteitä tai saattaa olla jopa mahdotonta (rakennustyyppistä riippuen). Tarvittavat vaimennustoimenpiteet tulee määrittää ja suunnitella rakennuskohtaisesti.
- Tällä alueella tulee ehdottomasti tehdä tarkentavia lisämittauksia uuden asuinrakennuksen suunnitteluvaiheessa.
- Vaikutusalue ulottuu
 - radan pohjoispuolella enintään 10...30 m etäisyydelle radasta
 - radan eteläpuolella enintään 15...80 m etäisyydelle radasta
- Mittaustuloksista valmiiseen rakennukseen arvioitu tunnusluvun arvo ylitti luokan C suositusarvon 0,30 mm/s.
- Tärinä voi vaihdella paikallisesti hyvin paljon, jolloin on mahdollista, että näilläkin alueilla on kohtia joissa suositusarvo ei ylity.

Liitteen 1 karttaan on **oranssilla** merkitty **tärinän merkittävä vaikutusalue**:

- Tälle alueelle suositellaan ensisijaisesti sijoitettavan muuta kuin asuinrakentamista.
- Tällä alueella tulee tehdä tarkentavia lisämittauksia uuden asuinrakennuksen suunnitteluvaiheessa tärinä- ja runkomelutasojen varmistamiseksi ja mahdollisesti tarvittavien vaimennustoimenpiteiden määrittämiseksi.
- Vaikutusalue ulottuu
 - radan pohjoispuolella enintään 20...50 m etäisyydelle radasta
 - radan eteläpuolella enintään 30...100 m etäisyydelle radasta
- Mittaustuloksista valmiiseen rakennukseen arvioitu tunnusluvun arvo täytti luokan C suositusarvon 0,30 mm/s, mutta oli yli 0,20 mm/s. Tärinä valmiissa rakennuksessa on näin ollen todennäköisesti havaittavissa.

Liitteen 1 karttaan on **vihreällä** merkitty **tärinän vähäinen vaikutusalue**:

- Tälle alueelle voidaan sijoittaa asuinrakentamista pientalorakentamista välttäen.

- Tällä alueella tulee tarkentavien lisämittausten tarve arvioida tapauskohtaisesti uuden asuinrakennuksen suunnitteluvaiheessa.
- Vaikutusalue ulottuu
 - radan pohjoispuolella enintään 50...100 m etäisyydelle radasta
 - radan eteläpuolella enintään 55...150 m etäisyydelle radasta
- Mittaustuloksista valmiiseen rakennukseen arvioitu tunnusluvun arvo täytti luokan C suositusarvon 0,30 mm/s, ollen 0,10...0,20 mm/s. Tärinä valmiissa rakennuksessa saattaa olla satunnaisesti havaittavissa.

Liitteen 1 kartan selvitysalueen **värittämatön, tärinän vaikutusalueen ulkopuolinen osa:**

- Tälle alueelle voidaan sijoittaa vapaasti asuinrakentamista.

Tärinän vaikutusaluekarttoja käytettäessä tulee muistaa, että vaikutusalueet ovat voimassa vain esitetyillä alueilla. Toisin sanoen vaikutusalueiden ”jatkaminen” radan suuntaisesti ei ole mahdollista.

Suosittellemme lisäämään kaavamääräyksiin kohdan, jossa edellytetään tärinän huomioon ottaminen. Kaavamääräys voi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

Raideliikenteestä aiheutuva tärinä tulee huomioida rakennuksissa siten, että liikennetärinän osalta

- *toimistorakennuksissa ei ylitetä tärinän tunnusluvun $v_{w,95}$ arvoa 0,90 mm/s tai voimassa olevaa määräysarvoa*
- *normaaleissa asuinrakennuksissa ei ylitetä tärinän tunnusluvun $v_{w,95}$ arvoa 0,30 mm/s tai voimassa olevaa määräysarvoa.*

Edellä esitetyn mukaisesti liike- ja toimistorakennuksille sovelletaan yleensä tunnusluvun suositusarvoa 0,90 mm/s. Näin ollen niitä on mahdollista sijoittaa lähemmäksi rataa kuin asuinrakennuksia.

8.3 Tärinän aiheuttama runkomelu

Mittaustulosten perusteella tärinän aiheuttama runkomeluhaitta rajautuu pääosin edellä mainitun vihreän vaikutusalueen etäisyydelle pääradasta. Aluekohtaisissa lisätutkimuksissa myös runkomelu tulee selvittää ja sen mahdollisesti tuomat rajoitukset/vaatimukset huomioida rakennusta suunniteltaessa.

Runkomelun arviointi värähtelymittauksista on osoittautunut monissa kohteissa epäluotettavaksi. Menetelmä maaperäolosuhteista riippuen saattaa yliarvioida runkomelua merkittävästi. Erityisesti selvityskohteen kaltaisilla pehmeillä mailla menetelmällä on saatu huomattavasti todellisia runkomelutasoja suurempia arvioita.

Epävarmuustekijöiden vuoksi tärinäsignaaleista määritettyjä runkomelutasoja voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavina arvioina. Todelliset runkomelutasot pystytään toistaiseksi selvittämään luotettavasti ainoastaan äänitasomittauksilla.

8.4 Hangonratapiha-alueen koulutontti

Jos koulurakennus sijoitetaan alle 25 metrin etäisyydelle radasta, tulee vaurioriski arvioida tarkemmin suunniteltavan rakennuksen kohdalla tehtävillä lisämittauksilla rakennuksen suunnittelu-vaiheessa

Opetustiloissa voidaan soveltaa tunnusluvun suositusarvoa 0,60 mm/s. Näin ollen koulurakennus on mahdollista sijoittaa lähemmäksi rataa kuin asuinrakennukset. Mittaustulosten perusteella koulun tontin kohdalla tärinän vaikutus käyttöviihtyvyyteen ei rajoita koulurakennuksen sijoittelua.

Maasta mitatusta tärinästä arvioidun runkomelun perusteella runkomelun aiheuttaman haitan suojaetäisyys radasta koulurakennuksella on 75 m. Maan tärinästä arvioidut runkomelutasot kokemuksemme mukaan yliarvioivat todellista runkomelutasoa valmiissa rakennuksessa, jolloin todennäköisesti suojaetäisyys on edellä arvioitua pienempi. Jos koulurakennus sijoitetaan alle 75 metrin etäisyydelle radasta, tulee runkomelutaso arvioida tarkemmin uudelleen.

8.5 Muita huomioita

Mittaustulokset edustavat mittauskohteen tärinää vain niissä olosuhteissa, joissa mittaukset suoritettiin. Muun muassa raiteiden kunnan, junakaluston tai ajonopeuksien poiketessa oleellisesti mittausajankohdasta on tärinärvojen muuttuminen mahdollista. Radalle mahdollisesti tuleva henkilöliikenne ei vaikuta selvityksessä tehtyihin johtopäätöksiin. Henkilöliikenteen aiheuttama tärinä on selvästi radalla nykyisin kulkevaa tavaraliikennettä pienempää.

Maaperästä rakennukseen siirtyneen tärinän arviointitulokset ovat lähellä todellisia referenssirakennuksissa mitattuja tärinärvoja. Täten voidaan olettaa, että arviointitulokset ovat edustavia.

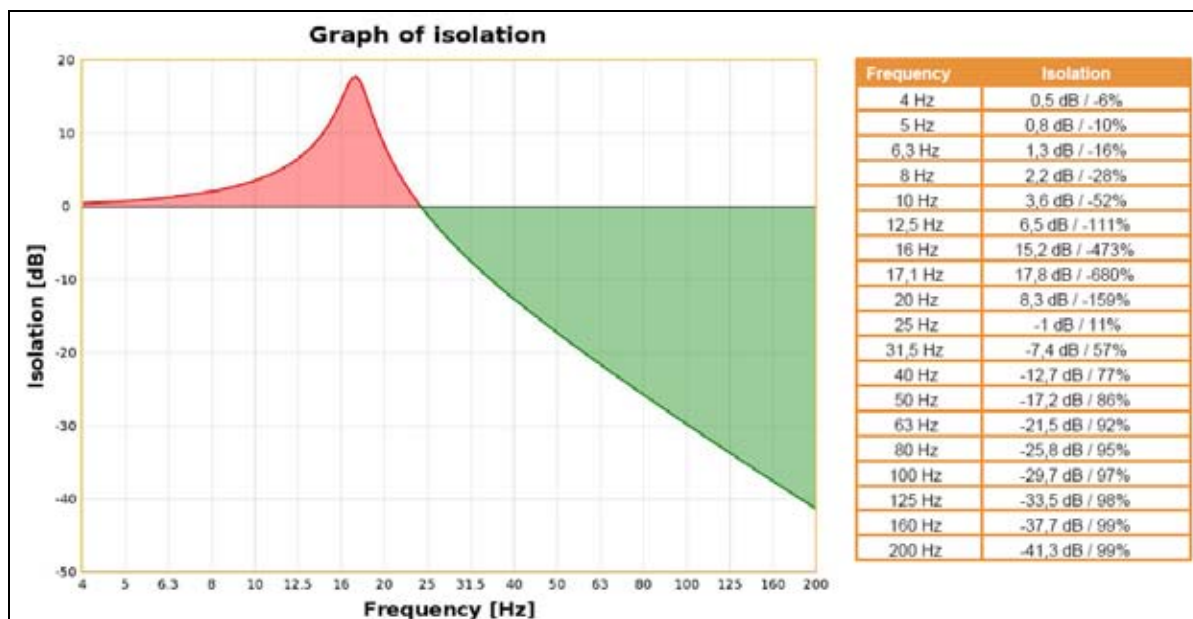
Mittausten aikana maa oli roudassa.

9 LIIKENNÄTÄRINÄN VAIMENNUS

Tärinän siirtymistä maaperästä rakennukseen voidaan vähentää tärinävaimentimilla. Vaimentimet toimivat oikein mitoitettuina hyvin tärinälähteen etäisyydestä riippumatta. Pehmeiden maalajien (tärinän taajuusalue alle noin 25 Hz) alueilla vaimentimet ovat ”pistemäisiä jousipakkavaimentimia” (vrt. auton jouset). Tällaisten vaimentimien kustannus on luokkaa 200–400 k€/per kerrostalo. Karkeampien maalajien (tärinän taajuusalue yli noin 25 Hz) alueella vaimentimena käytetään mattomaista vaimenninta, joka asennetaan koko sokkelin tms. perustuksen alle. Lisäksi mattovaimenninta voidaan asentaa perustuksen/sokkelin pystypintoihin. Tällaisen vaimennuksen kustannus on luokkaa 50–150 k€/per kerrostalo.

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkikuvaaja rakennuksen alle asennettavan mattomaisen vaimentimen vaikutuksesta värähtelyyn taajuuskaistoittain. Kuvaajasta voidaan huomata, että matto alkaa vaimentaa tässä tapauksessa yli 25 Hz taajuuksilla kun taas sitä pienemmillä taajuuksilla tärinä voimistuu. Vaihtoehtoisesti pistemäisillä jousipakkavaimentimilla vaimennusalue saadaan siirrettyä alemmille taajuuksille. Käytettävät

vaimennuskeinot tulee arvioida talokohtaisesti värähtelyn taajuussisällön (ts. maalajin), värähtelyn voimakkuuden sekä suunnitellun rakennuksen koon ja massan mukaan.



Kuva 2. Esimerkkikuvaaja rakennukseen asennettavan mattomaisen vaimentimen vaikutuksesta.

Toinen vaihtoehto on käyttää meluesteen kaltaista värinäestettä radan välittömässä läheisyydessä. Esteinä on käytetty teräsponttiseiniä ja syvästabilointia. Esteen syvyys on 10–15 m esteen sijainnin ja savikerroksen paksuuden mukaan. Esteen vaikutus on suurimmillaan esteen läheisyydessä alle 100 m etäisyydellä radasta ja pienenee etäisyyden kasvaessa. Värinäesteen kustannus on luokkaa 1500–2000 €/jm (alv 0 %). Esteiden vaikutusalueiden laajuudesta ei ole vielä riittävästi tutkimustietoa.

Ylisuuret paalut tms. rakenteet eivät toimi savimailla kerrostalojen värinäevaimennustoimenpiteinä. Toisaalta rakennusten suunnittelussa on huomioita, että rakenteiden resonanssitaajuuksien eivät osu maaperän ominaistajuuksien kanssa yhteen, sillä tällöin värinän merkittävä voimistuminen valmiissa rakennuksessa on mahdollista.

Edellä esitetyn mukaisesti värinän vaimennustoimenpiteet ovat kustannuksiltaan kohtalaisen suuria. Tästä johtuen uudisrakennukset tulisi mahdollisuuksien mukaan ensisijaisesti sijoittaa alueille, joissa värinän vaikutusten on arvioitu olevan vähäisiä (kts. liite 1).

9.1 Muottikadun alue

Muottikadun alueella värinäevaimennus voidaan todennäköisesti toteuttaa talokohtaisilla mattomaisilla vaimentimilla. Vaimennustarve ja -tapa tulee selvittää talokohtaisilla lisäselvityksillä.

Alueella tullaan tulevaisuudessa tekemään raiteiden muutostöitä. Värinäevaimennus voidaan mahdollisesti toteuttaa myös asentamalla mattomainen vaimennin ratarakenteiden tai ratapölkkyjen alle. Ratavaimennuksen toimivuudesta ei ole vielä riittävästi tutkimustietoa Suomen maaperällä, joten menetelmän toimivuus tulee tarvittaessa selvittää yhteistyössä vaimentimien valmistajien ja lisämittauksin asennustöiden jälkeen.

Tärinävaimennus teräsponttiseinällä ja syvästabiloinnilla ei sovellu Muottikadun alueelle karkean maaperän (missä kallioperä lähellä maanpintaa) vuoksi.

10 KIRJALLISUUTTA

Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, I Esiselvitys, VTT:n tiedotteita 2468, A. Talja ja A. Saarinen, Valtion Tekninen Tutkimuskeskus, Espoo 2009

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

Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta, VTT:n tiedotteita 2278, A. Talja, Otamedia Oy, Espoo 2005

Rautatieliikenteen vaikutus rakenteisiin, J. Törnqvist ja O. Nuutilainen, Luonnos, Otamedia Oy, Espoo 2002

Standardi NS 8176.E, Vibration and Shock, Measurement Of Vibration In Buildings From Landbased Transport And Guidance To Evaluation Its Effect On Human Beings, Norjan standardisoimisvirasto, Norja 1999

Standardi ISO 2631, Mechanical Vibration And Shock — Evaluation Of Human Exposure To Whole-body Vibration, Osat 1 ja 2, International Organization of Standardization, Sveitsi 1997

11 LISÄTIETOJA

Kimmo Kokki
Promethor Oy

sp. kimmo.kokki@promethor.fi
puh. 040 455 7531

Jani Kankare
Promethor Oy

sp. jani.kankare@promethor.fi
puh. 040 574 0028

Tällä alueella tulee ehdottomasti tehdä tarkempi värinäselvitys uuden asuinrakennuksen suunnitteluvaiheessa. Asuinrakennusten rakentaminen alueelle todennäköisesti edellyttää merkittäviä vaimennustoimenpiteitä ($v_{w,95,rakennus} > 0,30$ mm/s).



Tällä alueella tulee tehdä tarkempi värinäselvitys uuden asuinrakennuksen suunnitteluvaiheessa värinä- ja runkomelutasojen varmistamiseksi ja mahdollisesti tarvittavien vaimennustoimenpiteiden määrittämiseksi.

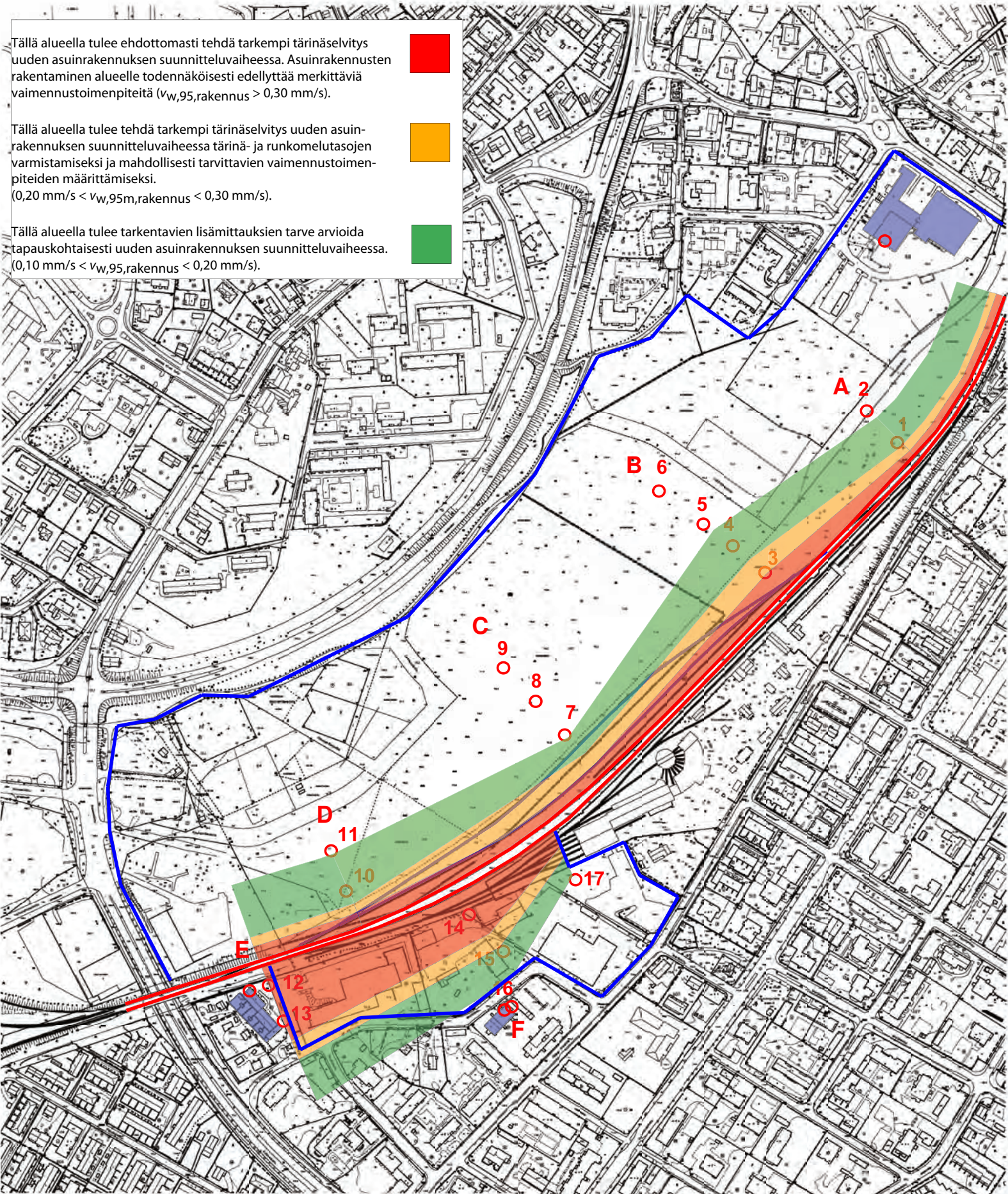


($0,20$ mm/s $< v_{w,95m,rakennus} < 0,30$ mm/s).

Tällä alueella tulee tarkentavien lisämittausten tarve arvioida tapauskohtaisesti uuden asuinrakennuksen suunnitteluvaiheessa.

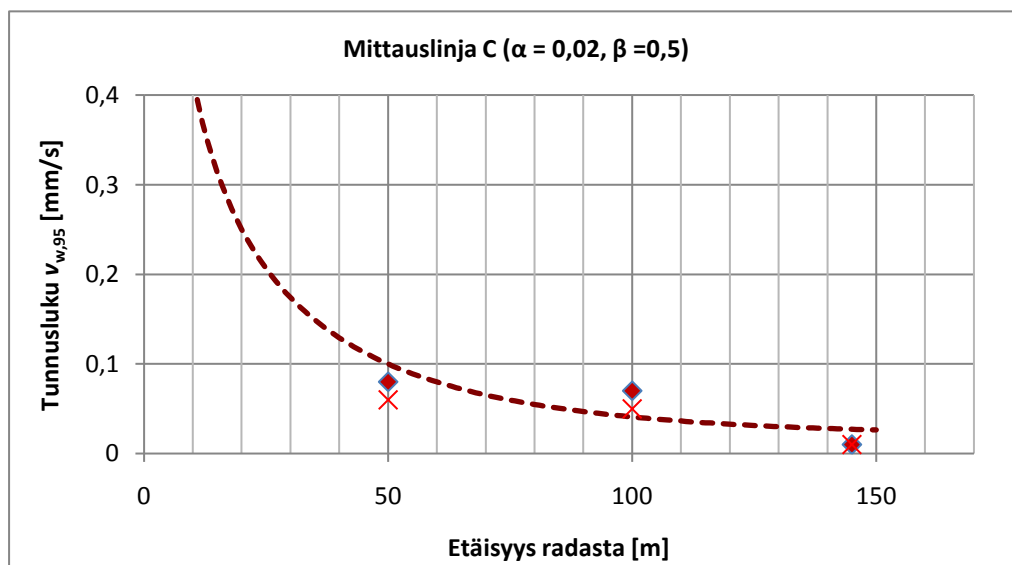
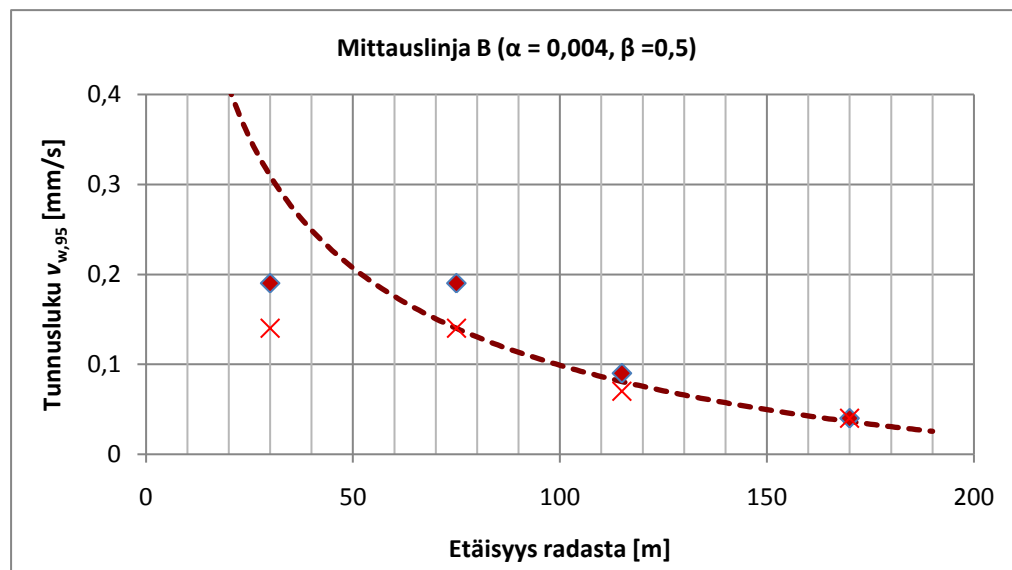
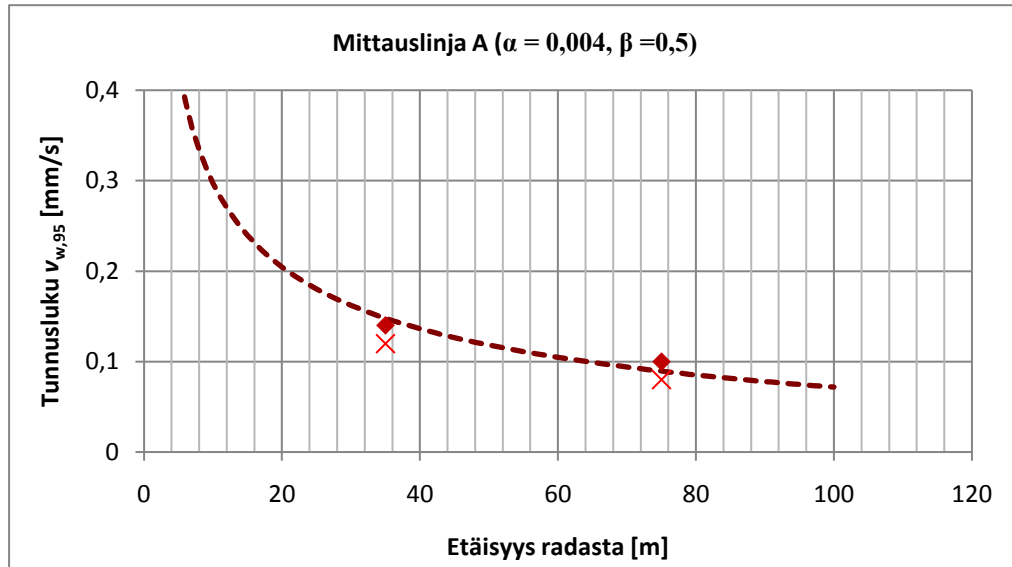


($0,10$ mm/s $< v_{w,95,rakennus} < 0,20$ mm/s).



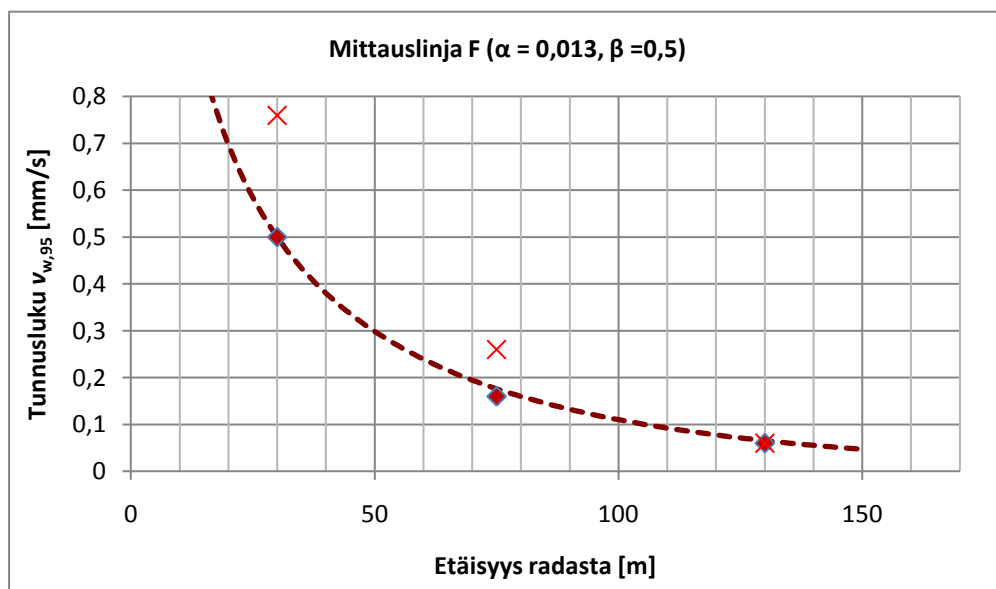
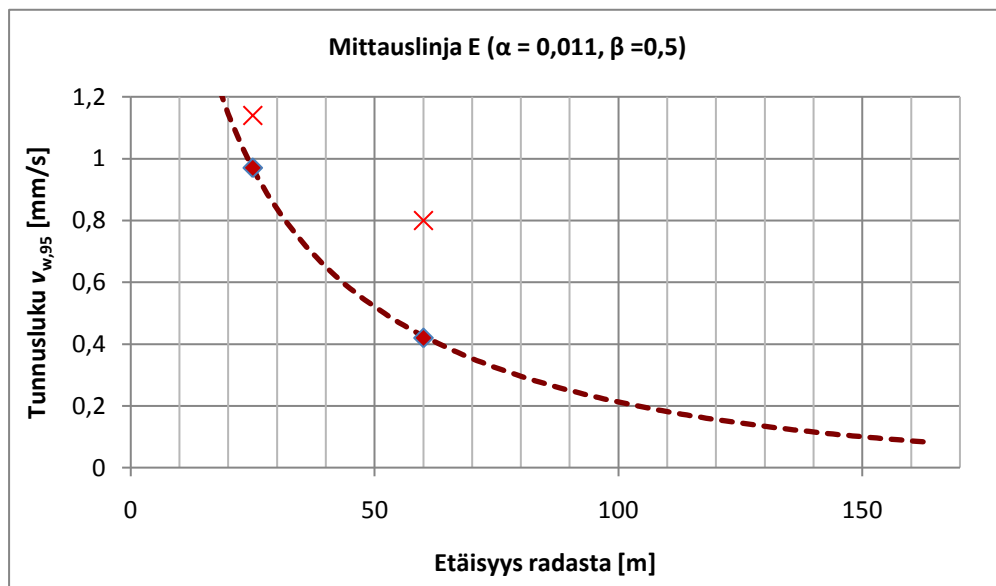
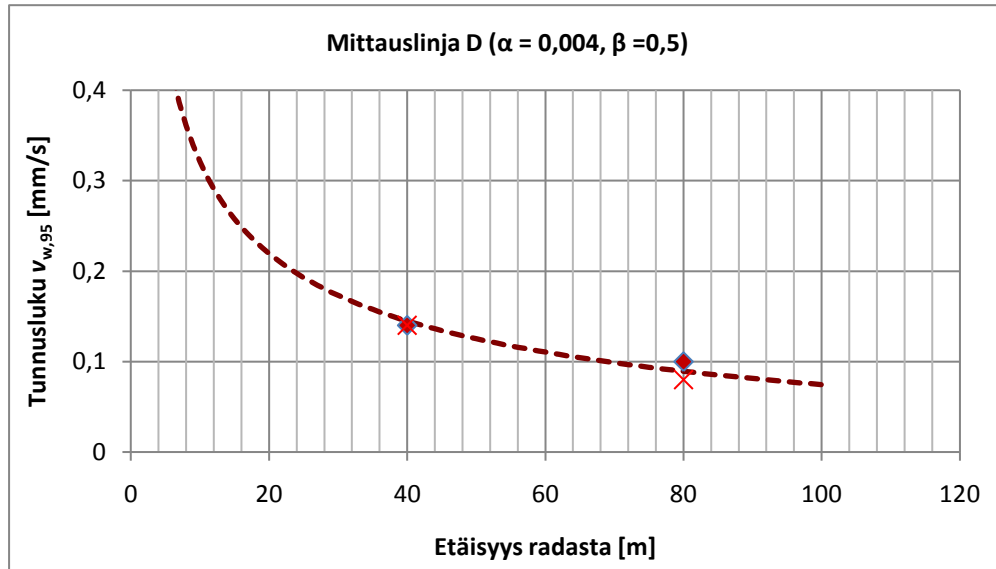
Tärinän leviämisen sovituskvaajat mittauslinjoittain

Taulukoissa esitetään mittauslinjoittain mittauspisteiden maasta mitatut (rasti) sekä maasta rakennukseen siirtyneen tärinän arvioidut (ruutu) tunnusluvut $v_{w,95}$ etäisyyden funktiona. Tärinän geometrinen vaimennus on arvioitu VTT:n tiedotteen 2777 ”Suositus liikenne-tärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa”, 2006, mukaisesti. Käyrät on sovitettu maasta rakennukseen siirtyneen tärinän mukaan. Käyriä on käytetty liitteen 1 karttojen tärinän vaikutusalueiden piirtämisessä. Mittauslinjojen tunnisteen A-F on esitetty liitteessä 1.



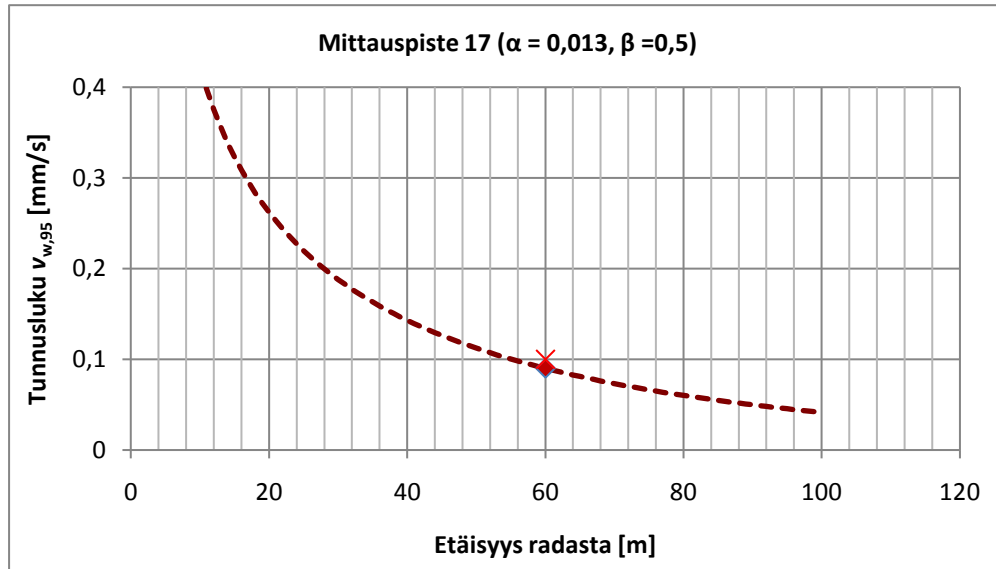
Tärinän leviämisen sovituskvaajat mittauslinjoittain

Taulukoissa esitetään mittauslinjoittain mitauspisteiden maasta mitatut (rasti) sekä maasta rakennukseen siirtyneen tärinän arvioidut (ruutu) tunnusluvut $v_{w,95}$ etäisyyden funktiona. Tärinän geometrinen vaimennus on arvioitu VTT:n tiedotteeseen 2777 ”Suositus liikenne-tärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa”, 2006, mukaisesti. Käyrät on sovitettu maasta rakennukseen siirtyneen tärinän mukaan. Käyriä on käytetty liitteen 1 karttojen tärinän vaikutusalueiden piirtämisessä. Mittauslinjojen tunnisteen A-F on esitetty liitteessä 1.



Tärinän leviämisen sovituskuvajaajat mittaustuljoittain

Taulukoissa esitetään mittaustuljoittain mittaustuljoitten maasta mitatut (rasti) sekä maasta rakennukseen siirtyneen tärinän arvioidut (ruutu) tunnusluvut $v_{w,95}$ etäisyyden funktiona. Tärinän geometrinen vaimennus on arvioitu VTT:n tiedotteen 2777 ”Suositus liikenne-tärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa”, 2006, mukaisesti. Käyrät on sovitettu maasta rakennukseen siirtyneen tärinän mukaan. Käyriä on käytetty liitteen 1 karttojen tärinän vaikutusalueiden piirtämisessä. Mittaustuljojen tunnistet A-F on esitetty liitteessä 1.



Mittaustulokset (tärinän tunnusluvut)

Mittaustuloksena on ilmoitettu tärinän tunnusluku vw₉₅, jota suositellaan käytettäväksi maankäytön suunnittelussa. VTT:n suosituksen mukaan uusilla asuinalueilla normaaleille asuinrakennuksille on pyrittävä siihen, ettei tunnusluku ylitä arvoa 0,30 mm/s. Suluissa on esitetty VTT:n lattian ja rungon värähtelyn yleiseen voimistumiseen ja resonanssitarkasteluun perustuvan arviointimenetelmän tulokset.

