

Sipoon kunta
Kehitys- ja kaavoituskeskus
Kaavoitusyksikkö
PL 7 / Iso Kylätie 18
04130 Sipoo

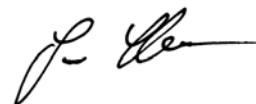
Helsinki 26.11.2010

Sivu 1(21)

TALMA–NIKKILÄ-RATAOSUUS,
SIPOO
RAIDELIIKENNETÄRINÄSELVITYS

Sipoon kunta

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.....	5
2	Mittaus- ja arviointimenetelmät	5
3	Mittauslaitteet	6
4	Tärinän suositusarvot.....	6
4.1	Tärinän suositusarvot rakennusten vaurioriskin kannalta	6
4.2	Tärinän suositusarvot asumisviihtyvyyden kannalta	7
4.3	Runkomelun suositusarvot	7
5	Mittauspisteet	8
6	Mittaustulokset	11
6.1	Värähtelyn heilahdusnopeuden resultantti v_{res}	11
6.2	Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$	13
6.3	Värähtelyn taajuussisältö	14
6.4	Arvio runkomelun enimmäistasosta.....	16
7	Tulosten tarkastelu.....	18
7.1	Tärinän aiheuttama rakennusten vaurioitumisriski	18
7.2	Tärinän vaikutus käyttö- ja asumisviihtyvyyteen	18
7.3	Tärinän aiheuttama runkomelu	19
7.4	Muita huomioita	19
8	Liikennetärinän vaimennus.....	20
9	Johtopäätökset	20
10	Kirjallisuutta	20
11	Lisätietoja	21
Liite 1	Tärinän vaikutusaluekartat	
Liite 2	Tärinän leviämisen sovituskuvaajat mittauslinjoittain	
Liite 3	Mittauspisteet ja mittaustulokset kartalla	
Liite 4	Mittauspisteiden tulossivut	
Liite 5	Mittauspisteiden runkomelutulossivut	
Liite 6	Junatiedot	

TIIVISTELMÄ

Talma–Nikkilän-rataosuus kulkee Nikkilän taajaman ja Talman kyläalueen läpi ja pituutta sillä on noin 14 kilometriä. Tällä hetkellä rataosuudella liikennöi vain tavarajunia, mutta tulevaisuudessa rataosuudelle on suunniteltu myös henkilöliikennettä. Tässä selvityksessä on määritetty raideliikenteen aiheuttama tärinä Nikkilän, Martinkylän ja Talman alueilla. Selvitys toimii Sipoon yleiskaavan mukaisten taajama-alueiden yksityiskohtaisen kaavoituksen pohjana.

Raideliikenteen aiheuttamaa tärinää mitattiin neljässäkymmenessäviidessä (45) pisteessä maasta. 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 merkittävää ja maankäytön suunnittelussa huomioon otettavaa tärinää. Rakennusten vaurioriski rajoittuu lähelle rataa suojaetäisyyden ollessa suurimmillaan 50 m. Tilojen käyttö- ja asumisviihtyvyyden kannalta määritetty tärinän tunnusluvun rajoittaman alueen etäisyys radasta vaihtelee merkittävästi. Asuinrakennusten suojaetäisyyden voidaan arvioida olevan muutamasta kymmenestä metristä satoihin metreihin. Mahdollisella uudella henkilöliikenteellä ei ole vaikutusta suojaetäisyyksiin.

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

Tärinäselvityksen lopussa on annettu esimerkkejä tärinänvaimennusvaihtoehdoista savimaille ja karkeammille maalajeille sijoitettaville rakennuksille.

SAMMANDRAG

Banavsnittet Tallmo–Nickby går genom Nickby tätort och Tallmo byområde och mäter ca 14 kilometer. För närvarande trafikerar bara godståg på denna bana, men i framtiden planeras även persontrafik. Denna utredning syftade till att fastställa vibrationen som orsakas av spårtrafiken i Nickby, Mårtensby och Tallmo. Utredningen utgör underlag för detaljplanläggningen av tätortsområdena i generalplanen för Sibbo.

Vibrationen av spårtrafiken mätts upp vid fyrtiofem (45) punkter i marken. Mätningarna visade vibrationsstyrkan när det gäller risken för att nya byggnader skadas, trivseln i lokalerna och lokalernas användning samt stombullret. Resultaten av utredningen har granskats med hjälp av värden som rekommenderas av VTT.

Mätningarna visade att spårtrafiken orsakar betydande vibrationer som bör tas i beaktande vid planeringen av markanvändningen. Risken för att byggnader tar skada begränsas till områdena nära banan och skyddsavståndet är som störst 50 m. Avståndet från banan till det område som avgränsats med hjälp av nyckeltal för vibration beträffande lokalanvändning och boendetrivsel varierar betydligt. För bostadsbyggnader beräknas skyddsavståndet ligga mellan några tiotals meter och hundratals meter. En eventuell ny persontrafik har inga följder för skyddsavstånden.

Utifrån mätningresultaten sammanställdes influensområdeskartor för vibrationen. I området närmast banan bedöms bostadsbyggande förutsätta vibrationsdämpande åtgärder. I området längst bort från banan kan bostadsbyggnader uppföras utan vibrationsdämpande åtgärder och tilläggsundersökningar. I de två mittersta områdena behövs ytterligare undersökningar. Hur områdena fördelas utifrån vibrationsstyrkan visas i kartbilagorna till utredningen.

I slutet av vibrationsundersökningen ges exempel på alternativa vibrationsdämpningsåtgärder för byggnader som placeras på lermark och grövre jordarter.

1 YLEISTÄ

Promethor Oy mittasi 19.8.–20.9. ja 20.–29.10.2010 raideliikenteen aiheuttamaa tärinää Sipoossa Nikkilän, Martinkylän ja Talman alueilla. Mittauksia suoritettiin neljässä kymmenessä viidessä (45) pisteessä maasta. Mittauksilla selvitettiin tärinän voimakkuus kohteessa

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

Mittaustuloksista arvioitiin lisäksi laskennallisesti tärinän aiheuttama runkomelutaso tyypillisessä asuinhuoneessa.

Selvityksen laadintaan ovat osallistuneet Kimmo Kokki, Olli Laivoranta, Matti Keränen ja Jani Kankare Promethor Oy:stä. Sipoon kunnasta työtä on ohjannut Suvi Siivola.

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 vaurioitumistodennäköisyyden 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 ylittyttyä mittaussignaali tallentui laitteen muistiin, josta se analysoitiin myöhemmin. Signaalien pääteltiin olevan raide- tai tieliikenteen aiheuttamia mm. tärinäsignaalien kestoajan, muodon ja amplitudin perusteella.

* 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.

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 lisätekijöitä käyttäen.

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. Normaalikuntoiset 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

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 värähtelyluokituksesta.

Värähtely-luokka	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 häiriöistä.</i>	$\leq 0,60$

Värähtelyn tunnusluvun suositusarvona toimistorakennuksissa käytetään 0,9 mm/s.

4.3 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, konserttitalit	25–30
Asuinhuoneistot	30/35*
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat - potilashuoneet, majoitustilat - päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet	30/35*
Kokoontumis- ja opetustilat - 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 ilmaääneneristävyydestä, on VTT:n ohjeen mukaan suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.

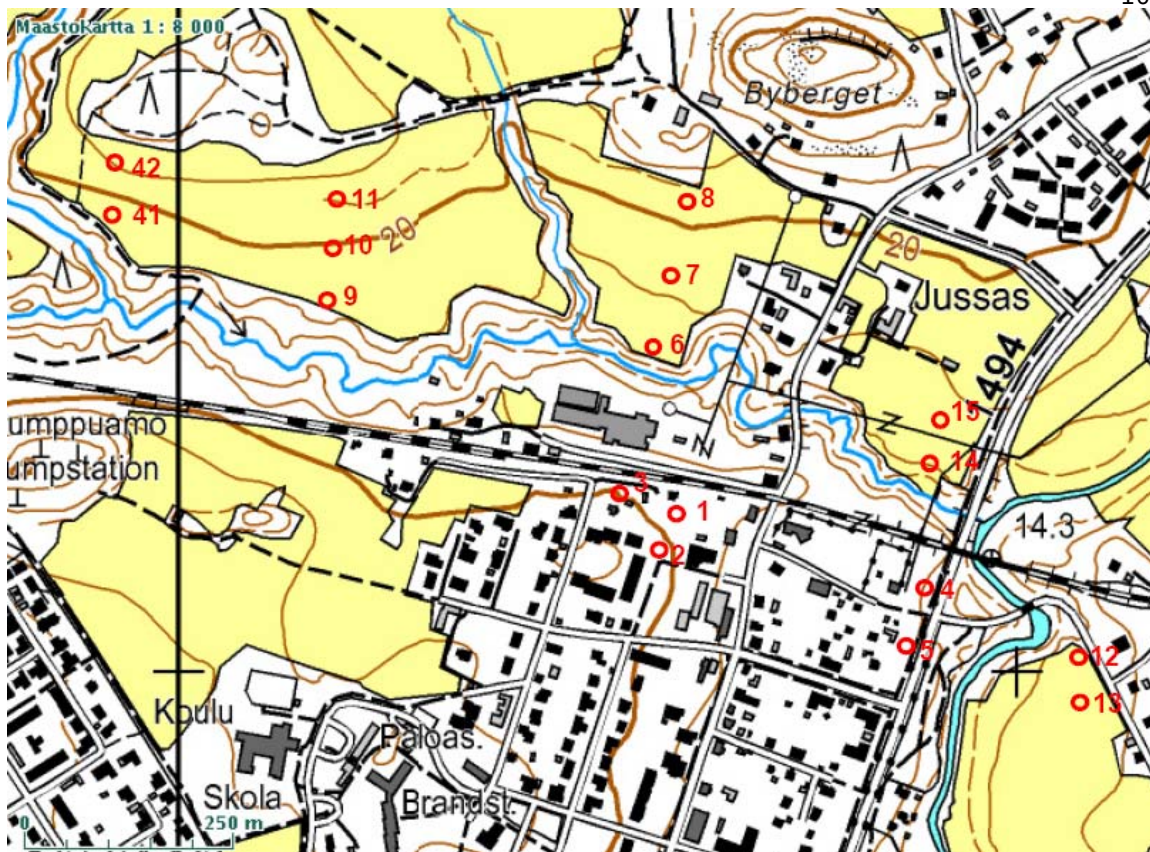
5 MITTAUSPISTEET

Tärinää mitattiin 45 mittauspisteessä maasta. Taulukossa 4 on esitetty mittauspisteiden mittaussuunnat, etäisyys radasta ja koordinaatit. Mittauspisteiden sijainnit on esitetty kuvissa 1, 2 ja 3. Mittauspisteissä maahan upotettiin 500 mm pituinen ja 20 mm paksuinen terästanko, jonka päähän kiihtyvyyssanturit asennettiin. Myöhemmin tässä raportissa tärinän mittaussuunnista pystyakselia nimitetään z-suunnaksi, vaakasuuntaista junarataa vastaan kohtisuoraa akselia y-suunnaksi ja radan suuntaista akselia x-suunnaksi.

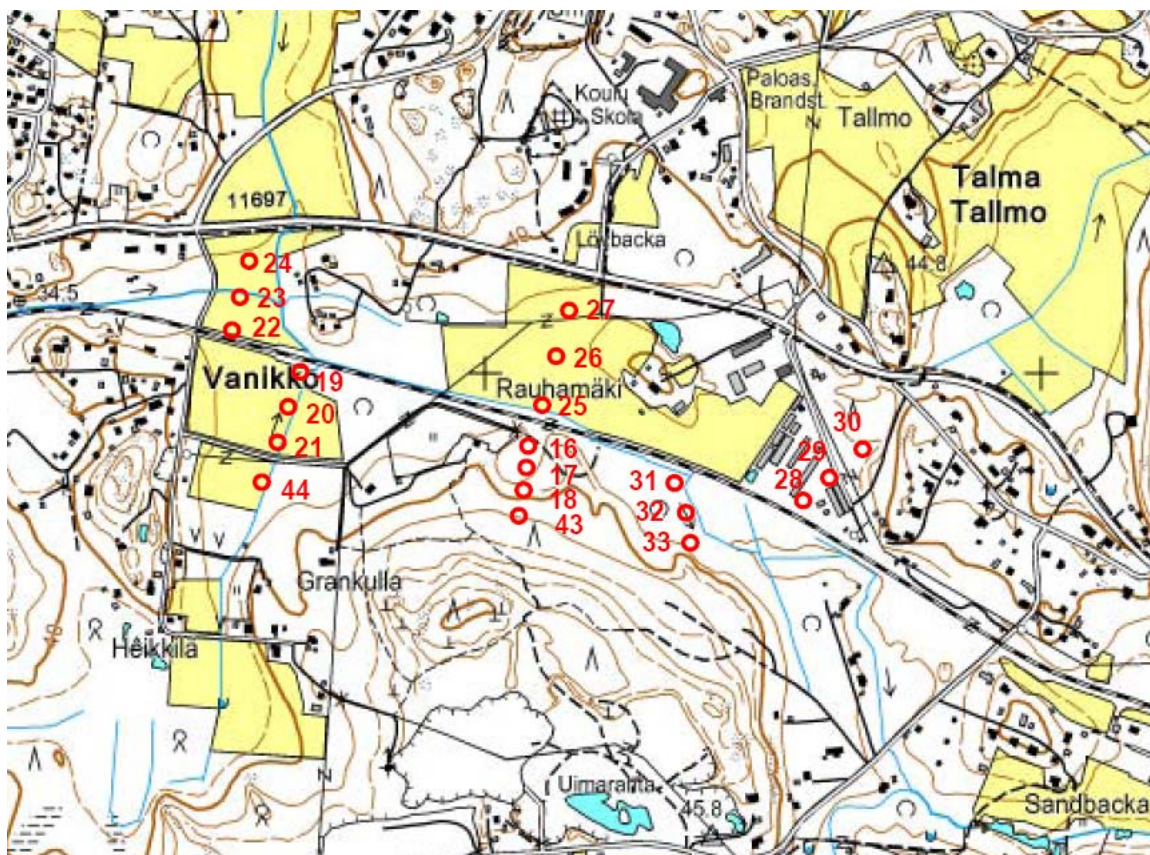
Taulukko 4. Mittauspisteiden mittaussuunnat, etäisyydet radasta ja koordinaatit.

Mittauspiste	Mittaussuunnat	Etäisyys radasta [m]	Koordinaatit	
			Latitudi	Longitudi
mp1	3-aksaalinen	40	60° 22.907'	25° 16.166'
mp2	3-aksaalinen	90	60° 22.882'	25° 16.148'
mp3	3-aksaalinen	25	60° 22.929'	25° 16.051'
mp4	3-aksaalinen	60	60° 22.852'	25° 16.453'
mp5	3-aksaalinen	125	60° 22.832'	25° 16.488'
mp6	3-aksaalinen	145	60° 23.015'	25° 16.130'
mp7	3-aksaalinen	230	60° 23.059'	25° 16.151'
mp8	1-aksaalinen	325	60° 23.103'	25° 16.174'
mp9	3-aksaalinen	140	60° 23.039'	25° 15.706'
mp10	3-aksaalinen	190	60° 23.071'	25° 15.715'
mp11	1-aksaalinen	250	60° 23.102'	25° 15.723'

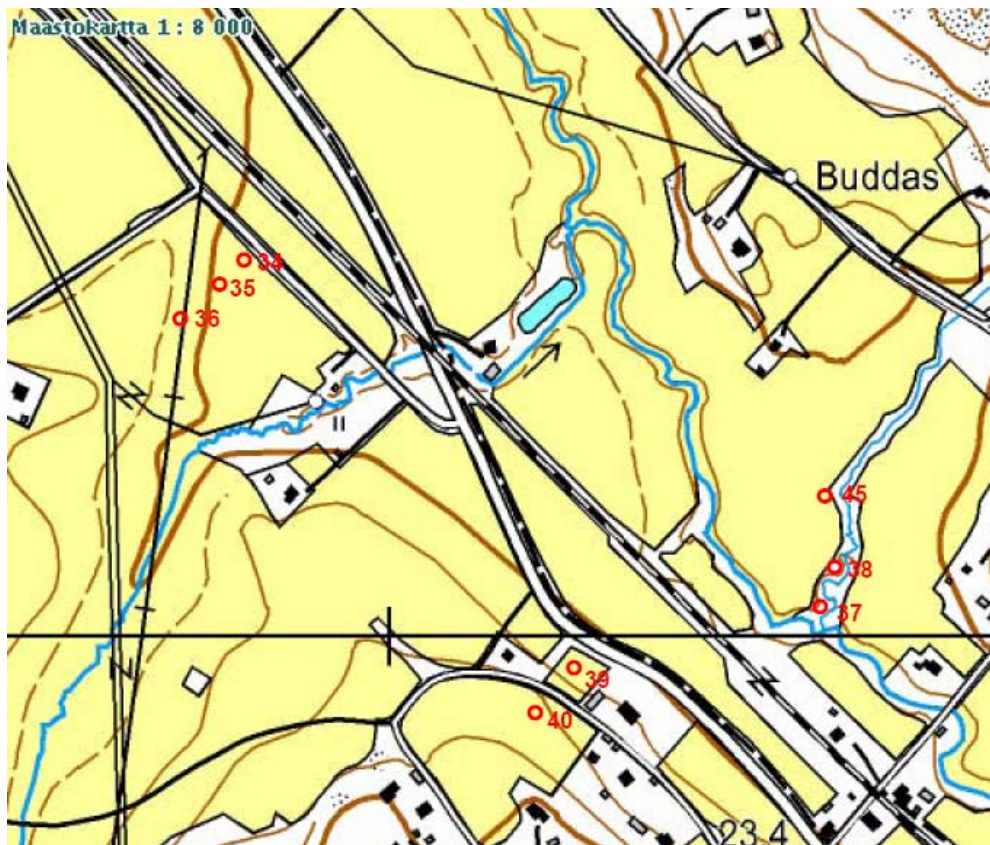
mp12	3-aksaalinen	80	60° 22.823'	25° 16.689'
mp13	1-aksaalinen	140	60° 22.795'	25° 16.689'
mp14	3-aksaalinen	90	60° 22.950'	25° 16.485'
mp15	1-aksaalinen	140	60° 22.973'	25° 16.509'
mp16	3-aksaalinen	40	60° 24.276'	25° 10.081'
mp17	3-aksaalinen	85	60° 24.251'	25° 10.073'
mp18	3-aksaalinen	125	60° 24.229'	25° 10.069'
mp19	3-aksaalinen	25	60° 24.338'	25° 09.635'
mp20	3-aksaalinen	95	60° 24.301'	25° 09.613'
mp21	3-aksaalinen	155	60° 24.269'	25° 09.593'
mp22	3-aksaalinen	10	60° 24.376'	25° 09.486'
mp23	3-aksaalinen	70	60° 24.408'	25° 09.501'
mp24	3-aksaalinen	135	60° 24.444'	25° 09.519'
mp25	3-aksaalinen	25	60° 24.314'	25° 10.101'
mp26	3-aksaalinen	130	60° 24.367'	25° 10.145'
mp27	3-aksaalinen	200	60° 24.406'	25° 10.145'
mp28	3-aksaalinen	25	60° 24.228'	25° 10.615'
mp29	3-aksaalinen	80	60° 24.243'	25° 10.665'
mp30	3-aksaalinen	150	60° 24.255'	25° 10.774'
mp31	3-aksaalinen	30	60° 24.243'	25° 10.366'
mp32	3-aksaalinen	80	60° 24.212'	25° 10.398'
mp33	1-aksaalinen	130	60° 24.205'	25° 10.400'
mp34	3-aksaalinen	60	60° 23.520'	25° 13.153'
mp35	3-aksaalinen	95	60° 23.507'	25° 13.124'
mp36	1-aksaalinen	150	60° 23.485'	25° 13.076'
mp37	3-aksaalinen	100	60° 23.336'	25° 13.802'
mp38	3-aksaalinen	145	60° 23.359'	25° 13.818'
mp39	3-aksaalinen	120	60° 23.291'	25° 13.533'
mp40	3-aksaalinen	180	60° 23.270'	25° 13.488'
mp41	3-aksaalinen	200	60° 23.091'	25° 15.414'
mp42	1-aksaalinen	260	60° 23.127'	25° 15.416'
mp43	1-aksaalinen	175	60° 24.216'	25° 10.066'
mp44	3-aksaalinen	220	60° 24.242'	25° 09.577'
mp45	3-aksaalinen	190	60° 23.394'	25° 13.808'



Kuva 1. Mittauspisteiden (1 - 15, 41 ja 42) sijainnit, Nikkilä.



Kuva 2. Mittauspisteiden (16 - 33, 43 ja 44) sijainnit, Talma.



Kuva 3. Mittauspisteiden (34 - 40 ja 45) sijainnit, Martinkylä.

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 2 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	40	1,2	23.8.	4.58
mp2	90	0,2	24.8.	5.01
mp3	25	3,8	20.8.	13.14
mp4	60	1,7	23.8.	4.58
mp5	125	0,9	24.8.	11.34
mp6	145	0,6	28.8.	4.54
mp7	230	0,3	30.8.	11.41
mp8	325	< 0,1*	24.8.	11.34
mp9	140	0,1	31.8.	00.22

mp10	190	< 0,1	-	-
mp11	250	< 0,1*	-	-
mp12	80	0,3	6.9.	17.37
mp13	140	0,2*	6.9.	17.56
mp14	90	0,7	4.9.	4.55
mp15	140	0,4	4.9.	4.55
mp16	40	1.0	6.9.	13.32
mp17	85	1,3	6.9.	13.32
mp18	125	0,1	23.10.	18.47
mp19	25	4,7	6.9.	13.32
mp20	95	1,9	7.9.	11.27
mp21	155	2,0	26.10.	05.03
mp22	10	4,6	7.9.	11.26
mp23	70	2,3	7.9.	5.38
mp24	135	0,7	23.10.	09.14
mp25	25	2,4	20.9.	4.32
mp26	130	1,8	7.9.	5.38
mp27	200	1,2	26.10.	05.04
mp28	25	2,6	11.9.	5.08
mp29	80	2,3	16.9.	12.04
mp30	150	0,2	17.9.	05.07
mp31	30	4,2	15.9.	4.45
mp32	80	2,8	15.9.	4.45
mp33	130	0,2*	15.9.	4.45
mp34	60	2,6	11.9.	5.11
mp35	95	1,5	13.9.	5.05
mp36	150	0,6*	13.9.	5.05
mp37	100	1,9	11.9.	5.12
mp38	145	1,1	24.10.	11.27
mp39	120	0,9	11.9.	5.09
mp40	180	0,1	14.9.	11.40
mp41	200	0,2	21.8.	11.44
mp42	260	< 0,1*	21.8.	13.25
mp43	175	< 0,1*	20.10.	14.12
mp44	220	1,7	26.10.	05.03
mp45	190	1,0	26.10.	05.07

*Yksiaksaalisen mittauksen suurin arvo mittausuunnassa (pystysuunta)

6.2 Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$

Ihmisen kokemaa tärinähaittaa arvioidaan tärinän tunnuslukua käyttäen. Tunnusluku määritetään taajuuspainotettujen heilahdusnopeuksien tehollisarvoista huomioimalla 15 suurinta tärinätapahtumaa viikon aikana. Taulukossa 6 on esitetty määritetyt tunnusluvut (mittauspisteissä 13, 15, 33, 36, 42 ja 43 mitaus suoritettiin vain pystysuunnassa).

Liitteessä 1 on esitetty alueet, joissa tärinävaikutuksia asumisviihtyvyyden kannalta on arvioitu olevan. Näille alueille suosittelemme laadittavan tarkentavia tärinäselvityksiä maankäyttösuunnitelmat huomioiden.

Laskuissa käytetyt $v_{w,max}$ -arvot on esitetty liitteessä 2. 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	40	0,23	0,35	0,31
mp2	90	0,02	0,07	0,06
mp3	25	0,23	1,56	1,42
mp4	60	0,57	0,36	0,38
mp5	125	0,26	0,20	0,25
mp6	145	0,20	0,15	0,16
mp7	230	0,04	0,10	0,08
mp8	325	0,02	-	-
mp9	140	0,02	0,05	0,05
mp10	190	-	-	-
mp11	250	-	-	-
mp12	80	0,10	0,07	0,06
mp13	140	0,08	-	-
mp14	90	0,21	0,18	0,16
mp15	140	0,13	-	-
mp16	40	0,07	0,27	0,26
mp17	85	0,07	0,38	0,30
mp18	125	0,01	0,04	0,04
mp19	25	1,57	1,16	0,74
mp20	95	0,75	0,45	0,31
mp21	155	0,64	0,19	0,20
mp22	10	1,33	0,92	1,28

mp23	70	0,60	0,66	0,61
mp24	135	0,26	0,23	0,16
mp25	25	0,54	0,58	0,67
mp26	130	0,48	0,63	0,59
mp27	200	0,18	0,48	0,42
mp28	25	1,20	0,65	0,61
mp29	80	0,83	0,50	0,43
mp30	150	0,02	0,07	0,10
mp31	30	0,84	1,55	1,20
mp32	80	0,73	0,68	0,57
mp33	130	0,10	-	-
mp34	60	0,97	0,87	0,40
mp35	95	0,60	0,49	0,28
mp36	150	0,26	-	-
mp37	100	0,63	0,51	0,31
mp38	145	0,39	0,21	0,24
mp39	120	0,09	0,35	0,22
mp40	180	0,02	0,04	0,04
mp41	200	0,07	0,06	0,05
mp42	260	0,02	-	-
mp43	175	0,01	-	-
mp44	220	0,58	0,19	0,16
mp45	190	0,34	0,24	0,17

6.3 Värähtelyn taajuussisältö

Mitattujen värähtelisyksien hallitsevat taajuusalueet on koottu taulukkoon 7. Liitteessä 2 on esitetty värähtelyn taajuuspainotetut taajuusjakaumat terssikaistoittain VTT:n suosituksen mukaisesti.

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

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	Hallitsevat taajuudet [Hz]		
		<i>z</i>	<i>y</i>	<i>x</i>
mp1	40	< 20 (10)	(6,3 & 40)	(6,3 & 40)
mp2	90	< 20 (10)	(8 & 63)	(8 & 63)
mp3	25	> 40 (40)	> 40 (40)	> 40 (40)
mp4	60	< 10 (4)	< 10 (4)	< 10 (4)
mp5	125	< 10 (4)	< 10 (6,3)	< 10 (4)

mp6	145	< 10 (4)	< 10 (4)	< 10 (4)
mp7	230	< 10 (6,3)	< 10 (4)	< 10 (4)
mp8	325	< 10 (3,15)	-	-
mp9	140	< 10 (8)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp10	190	-	-	-
mp11	250	-	-	-
mp12	80	(6,3 & 25)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp13	140	< 10 (6,3)	-	-
mp14	90	< 10 (6,3)	< 10 (4)	< 10 (4)
mp15	140	< 10 (5)	-	-
mp16	40	< 20 (16)	(8 & 50)	(8 & 50)
mp17	85	< 10 (8)	(8 & 50)	(8 & 50)
mp18	125	> 25 (50)	> 25 (40)	> 25 (40)
mp19	25	< 20 (8)	(4 & 63)	(4 & 63)
mp20	95	< 10 (6,3)	< 10 (8)	< 10 (5)
mp21	155	< 10 (5)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp22	10	< 10 (8)	(8 & 63)	(8 & 63)
mp23	70	< 10 (8)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp24	135	< 10 (6,3)	< 10 (5)	< 10 (4)
mp25	25	< 10 (6,3)	(5 & 50)	(5 & 50)
mp26	130	< 10 (8)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp27	200	< 10 (8)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp28	25	< 10 (6,3)	(5 & 63)	(5 & 63)
mp29	80	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)
mp30	150	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)
mp31	30	< 10 (6,3)	< 10 (5)	< 10 (6,3)
mp32	80	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)
mp33	130	< 10 (6,3)	-	-
mp34	60	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)
mp35	95	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)
mp36	150	< 10 (6,3)	-	-
mp37	100	< 10 (5)	(5 & 40)	(6,3 & 40)
mp38	145	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)
mp39	120	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)	< 10 (6,3)
mp40	180	> 10 (25)	< 10 (16)	< 10 (16)
mp41	200	< 10 (5)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp42	260	< 10 (5)	-	-

mp43	175	-	-	-
mp44	220	< 10 (5)	< 10 (5)	< 10 (5)
mp45	190	< 10 (5)	< 10 (5)	< 10 (5)

6.4 Arvio runkomelun enimmäistasosta

Taulukossa 8 on esitetty runkomelun arviointitulokset mittauspisteittäin.

Pystysuuntainen värinä (z-suunta) säteilee runkoääntä vaakasuorista pinnoista eli mm. lattioista ja vaakasuuntainen värinä (y- ja x-suunnat) pystysuorista pinnoista eli seinistä.

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

Mittauspiste	Etäisyys radasta [m]	L_{prm} [dB]		
		z	y	x
mp1	40	39	48	51
mp2	90	32	40	39
mp3	25	46	63	62
mp4	60	33	48	41
mp5	125	31	30	29
mp6	145	31	41	42
mp7	230	27	28	27
mp8	325	8	-	-
mp9	140	31	37	38
mp10	190	-	-	-
mp11	250	-	-	-
mp12	80	35	33	33
mp13	140	31	-	-
mp14	90	33	36	38
mp15	140	26	-	-
mp16	40	47	48	47
mp17	85	35	44	42
mp18	125	35	36	38
mp19	25	52	68	63
mp20	95	41	43	42
mp21	155	31	33	35
mp22	10	54	66	68
mp23	70	40	47	41
mp24	135	23	37	32
mp25	25	56	66	64

mp26	130	38	40	39
mp27	200	30	30	28
mp28	25	48	63	57
mp29	80	40	41	40
mp30	150	28	33	37
mp31	30	43	51	50
mp32	80	41	48	45
mp33	130	39	-	-
mp34	60	41	53	40
mp35	95	33	35	30
mp36	150	22	-	-
mp37	100	41	45	48
mp38	145	33	40	38
mp39	120	29	32	31
mp40	180	21	36	37
mp41	200	20	27	21
mp42	260	10	-	-
mp43	175	0	-	-
mp44	220	29	34	29
mp45	190	32	35	37

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 TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Tärinän aiheuttama rakennusten vaurioitumisriski

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

Osassa lähellä rataa olleissa mittauspisteissä (mp 3, 19, 22, 31) tärinän voimakkuus ylitti rakennusten vaurioitumisriskin suositusarvon 4 mm/s. Näiden mittauspisteiden etäisyys radasta oli 10–30 m.

Tulosten perusteella vaurioriskin arvioidaan ulottuvan maksimissaan 50 metrin etäisyydelle radasta. Osassa tutkittuja alueita suojaetäisyys on selvästi tätä pienempi.

Jos rakennuksia sijoitetaan alle 50 metrin etäisyydelle radasta, suosittelemme vaurioriskin arvioitavan tapauskohtaisesti.

7.2 Tärinän vaikutus käyttö- ja asumisviihtyvyyteen

Tutkittujen alueiden soveltuvuutta asuinrakentamiseen on havainnollistettu jakamalla alue tunnusluvun $v_{w,95}$ ja arvioidun lisäselvitystarpeen perusteella neljään luokkaan. Alueiden jakautuminen eri luokkiin on esitetty liitteessä 1.

Alueiden jaon lähtökohtana on, että uusien asuinrakennuksien lattioiden tärinän tunnusluvun arvo ei ylitä suositusarvoa 0,30 mm/s. Tärinän siirtyessä maasta rakennukseen voi tärinä tapauskohtaisesti vahvistua tai vaimentua, mikä on otettu huomioon alueiden rajauksissa.

Liitteen 1 karttoihin on punaisella merkitty alue: *”Asuinrakennusten rakentaminen alueelle edellyttää merkittäviä vaimennustoimenpiteitä.”* Se ulottuu yleensä enintään 40–275 metrin päähän radasta. Näillä alueilla tunnusluvun arvo ylitti 0,40 mm/s ja ne eivät sovellu asuinrakentamiseen ilman merkittäviä tärinänvaimennustoimenpiteitä. Tärinä voi kuitenkin vaihdella paikallisesti hyvin paljon, joten on mahdollista, että näilläkin alueilla on kohtia, joissa suositusarvo ei ylity.

Oranssilla on merkitty alue: *”Tällä alueella on ehdottomasti tehtävä tarkempi tärinäselvitys ennen uutta asuinrakentamista.”* Tällä alueella tunnusluvun $v_{w,95}$ arvot ovat tyypillisesti 0,20–0,40 mm/s. Lisämittauksia on tehtävä, koska tärinän voimakkuus voi vaihdella paikallisesti hyvin paljon ja lisäksi tärinän siirtyminen rakennukseen tulee määrittää käytettävissä olevien suunnitelmien perusteella nyt tehtyä tarkemmin. Mittaukset tulee kohdistaa lisätutkimuksissa juuri niille alueille, joille rakentamista suunnitellaan.

Vihreällä on merkityllä alueella: *”Tärinän lisämittausten tarve on arvioitava tapauskohtaisesti ennen uutta asuinrakentamista”*. Tällä alueella tunnusluvun $v_{w,95}$ arvot ovat tyypillisesti 0,10–0,20 mm/s. Tällä alueella tärinä saattaa kuitenkin olla aistein havaittavissa, joten rakennusten sijoittelulla on merkitystä tärinäoloihin asunnoissa.

Radasta kauimmaisena olevaa luokkaa (vihreästä seuraava) ei liitteen kartoissa ole merkitty. Kyseille alueelle asuinrakennuksia voidaan sijoittaa ilman lisätutkimuksia.

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.

7.3 Tärinän aiheuttama runkomelu

Tulosten perusteella tärinän aiheuttama runkomelu rajautuu lähelle rataa. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että tärinä rajoittaa alueiden käyttöä runkomelua enemmän ja näin ollen runkomelua ei ainakaan tässä vaiheessa tarvitse ottaa erityisesti huomioon. Luonnollisesti aluekohtaisissa lisätutkimuksissa myös runkomelu tulee selvittää ja sen mahdollisesti tuomat rajoitukset/vaatimukset huomioida.

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

7.4 Muita huomioita

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

Tässä selvityksessä tärinää mitattiin suoraan maasta. Tämä sisältää epävarmuustekijöitä, koska värähtelyn siirtymistä maasta rakennuksiin ja rakennuksen perustuksesta ylempiin kerroksiin ei voida täysin ennustaa. Mittausten aikana maa ei ollut roudassa.

Selvitysalueen maaperä oli pääasiassa savimaata. Poikkeuksena mittauspisteet 3, 18, 40 ja 43, joissa tärinän hallitsevat taajuudet ovat tyypillisiä karkeammille maalajeille.

8 LIIKENNETÄRINÄN VAIMENNUS

Tärinän siirtymistä maaperästä rakennukseen voidaan vähentää tärinävaimentimilla. Vaimentimet toimivat oikein mitoitettuina hyvin tärinälähteen etäisyydestä riippumatta. Pehmeiden maalajien alueilla vaimentimet ovat ”pistemäisiä jousipakkavaimentimia” (vrt. auton jouset). Tällaisten vaimentimien kustannus on luokkaa 200–400 k€ per kerrostalo eli kohtalaisen suuri. Karkeampien maalajien 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. Mattomaista vaimennusta käytetään lähinnä runkomelun (ei siis tärinän) vaimentamiseen.

Toinen vaihtoehto on käyttää meluesteen kaltaista tärinäestettä radan välittömässä läheisyydessä. Esteinä on käytetty teräsponttiseinää 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. Tärinäesteen kustannus on luokkaa 1500–2000 €/jm (alv 0 %). Esteiden vaikutusalueiden laajuudesta ei ole vielä riittävästi tutkimustietoa.

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

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

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoritettujen mittausten mukaan raideliikenne aiheuttaa merkittävää ja maankäytön suunnittelussa huomioon otettavaa tärinää. Rakennusten vaurioriski rajoittuu lähelle rataa suojaetäisyyden ollessa suurimmillaan 50 m. Tilojen käyttö- ja asumisviihtyvyyden kannalta määritetty tärinän tunnusluvun rajoittaman alueen etäisyys radasta vaihtelee merkittävästi. Selvitysalueilla asuinrakennusten suojaetäisyyden voidaan arvioida olevan muutamasta kymmenestä metrillä satoihin metreihin.

Alueilla, joissa tärinävaikutuksia on arvioitu olevan (kts. liite 1), suosittelemme laadittavan tarkentavia tärinäselvityksiä maankäyttösuunnitelmat huomioiden.

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