

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

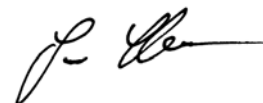
Helsinki 26.11.2010

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 neljässä kymmenessä viidessä (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 luokitukselta" mukaisesti. Mittaustulosten analysointi ja tulkinta ihmisen kokeman tärinähaitan kannalta tehtiin VTT:n ohjeiden "Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokitukselta" 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 analysointiin 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 pysty akselin 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 referenssi-nopeutena 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 herkät 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 luokituksista". Tämä ohjeellinen värähtelyluokitus on esitetty taulukossa 2.

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

| 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_{prn} [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 tarkoitetut 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 ilmaääneneristävyydestä, on VTT:n ohjeen mukaan suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.

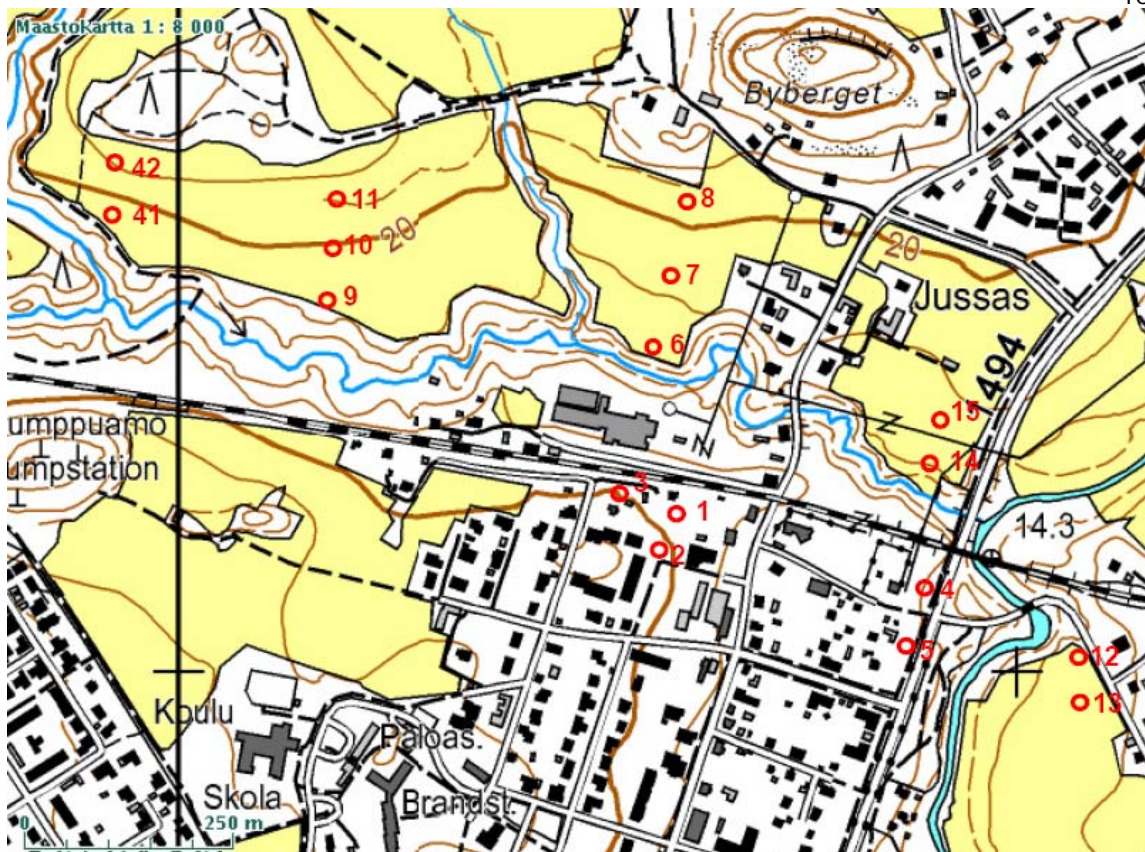
5 MITTAUSPISTEET

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.

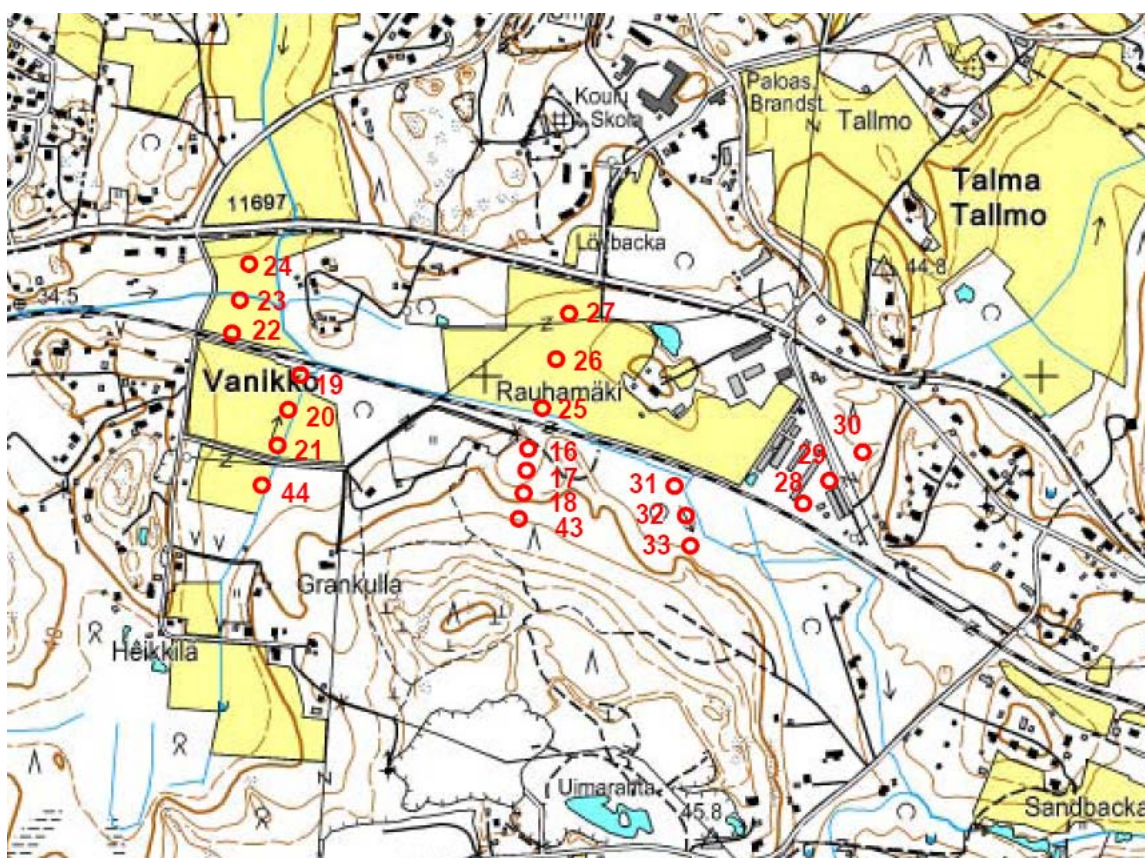
Taulukko 4. Mittauspisteiden mittaussuunnat, etäisyydet radasta ja koordinaatit.

| 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' |

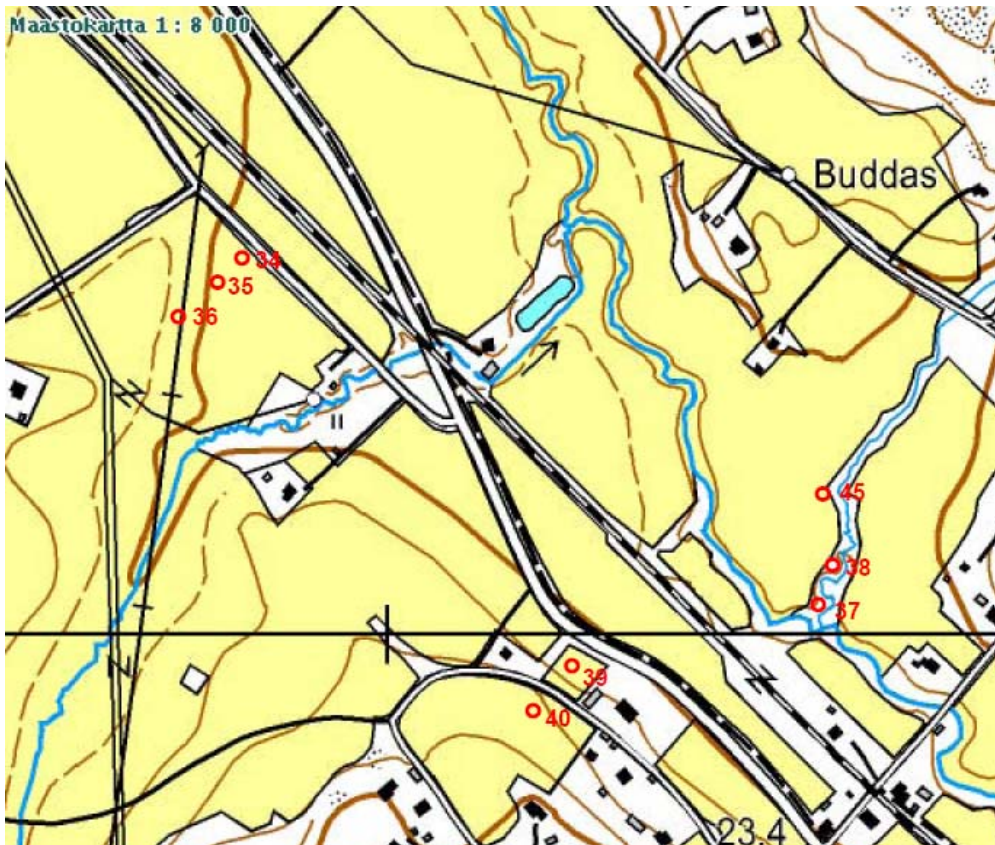
| | | | | |
|------|--------------|-----|-------------|-------------|
| mp12 | 3-aksaalinen | 80 | 60° 22.823' | 25° 16.689' |
| mp13 | 1-aksaalinen | 140 | 60° 22.795' | 25° 16.689' |
| mp14 | 3-aksaalinen | 90 | 60° 22.950' | 25° 16.485' |
| mp15 | 1-aksaalinen | 140 | 60° 22.973' | 25° 16.509' |
| 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 |

*Yksiakiaalisen mittauksen suurin arvo mittaussuunnassa (pystysuunta)

6.2 Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$

Ihmisen kokemaa tärinähaittaa arvioidaan tärinän tunnuslukua käyttäen. Tunnusluku määritetään taajuuspainotettujen heilahdusnopeuksien tehollisarvoista huomioimalla 15 suurinta tärinätahtumaa viikon aikana. Taulukossa 6 on esitetty määritetyt tunnusluvut (mittauspisteissä 13, 15, 33, 36, 42 ja 43 mittaus 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 värähteläisnäytteiden hallitsevat taajuusalueet on koottu taulukkoon 7. Liitteessä 2 on esitetty värähteläisnäytteen taajuuspainotetut taajuusjakaumat terssikaistoittain VTT:n suosituksen mukaisesti.

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

| Mittauspiste | Etäisyys radasta [m] | Hallitsevat taajuudet [Hz] | | |
|--------------|----------------------|----------------------------|------------|------------|
| | | z | y | x |
| 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_{prn} (suositusarvo asuinhuoneistossa on 35 dB)

| Mittauspiste | Etäisyys radasta [m] | L_{prn} [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 aistien 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.

Suosittelemme 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 LIKENNETÄRINÄN 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 resonanssitaajuudet eivät osu maaperän ominaistajuuksien 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