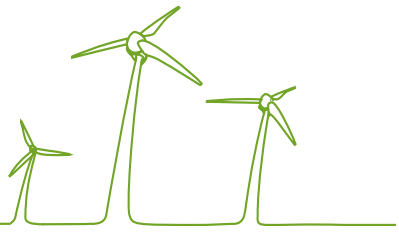
SUUNNITTELU JA TEKNIIKKA
Snellmaninkatu 10
53100 Lappeenranta

NAKKILA

Taajamaosayleiskaava ja osayleiskaavan tarkistus

Tärinäselvitys



FCG SUUNNITTELU JA TEKNIIKKA OY 11.3.2013 P 11420

Matti Hakulinen

11.3.2013

Sisällysluettelo

1 Johdanto 1
2 Tärinän arviointi ennustusmallien perusteella 3
3 Runkomelu 6
4 Yhteenveto 7

LIITE 1, RAUTATIELIIKENNETÄRINÄN TURVAETÄISYYDET

LIITE 2, TÄRINÄN KUVAAMISEN KÄSITTEITÄ

1 Johdanto

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy on tehnyt tärinäselvityksen Nakkilan taajamaosayleiskaavan ja osayleiskaavan tarkistukseen liittyen helmi-maaliskuussa 2013. Työn tavoitteena oli arvioida rautatieliikennetärinän vaikutuksia suunnitellulla kaava-alueella. Kaavaehdotus (5.1.2013) on esitetty liitteessä 1 maaperäkarttapohjalla.

Suunnittelualueen läpi kulkevan Kokemäki – Pori rataosan tavaraliikenteen määrä oli vuonna 2010 noin 1,2 milj. nettotonnia, radan kunnossapitotaso on 1 ja päällysrakenneluokka D. Suurin akselipaino on 25 tonnia ja suurin nopeus 100 - 120 km/h. Nakkilan kohdalla on tavaraliikenteen suositusnopeus 60 km/h sekä nyky- että vuoden 2030 ennustetilanteessa. Rataosan henkilöliikennemäärä oli noin 300 000 matkaa vuonna 2010 ja suurin nopeus henkilöliikenteessä on 140 km/h.

Tyypillinen arkiliikenne on nykytilanteessa 16 tavarajunaa ja 14 henkilöjunaa. Raskaimpien tavarajunien kokonaismassa on nykyisin noin 1800 tonnia.

Ennustetilanteessa vuonna 2030 tavarajunia on 27 ja henkilöjunia 16. Vaikka tavaraliikenne kasvaa merkittävästi, raskaimman tavarajunan kokonaismassa pysyy ennallaan eli se on noin 1800 tonnia. Radalta ympäristöön leviävän tärinän kannalta tällä on suuri merkitys, koska laskennallisesti tärinän suuruus radan ympäristössä on verrannollinen junan kokonaismassaan.

Tavaraliikennetiedot perustuvat pääosin sähköpostiviestiin (4.3.2013 maija.pitkanen@vr.fi). Viestin lähteinä ovat olleet Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2030 (37/2010, Liikennevirasto), Rataverkon tavoitettavuus ja välityskyky pitkällä aikavälillä (2010, Liikennevirasto), Etelä-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen (16/2009, Ratahallintokeskus) ja Tulevaisuuden henkilöliikenneselvitys (1/2009, Ratahallintokeskus).

Tärinäselvityksessä on sovellettu VTT:n suositusta liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa (VTT 2006, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, Working Papers 50), jonka mukaan arviointi jaetaan kolmeen tasoon 1,2 ja 3.

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

Tämän tarkastelun lähtökohtana on suosituksen arviointitaso 2.

Arviointitasoa 2 voidaan käyttää, kun alue on arviointitason 1 perusteella riskialuetta. Arviointitasoon 2 laskennallisiin menetelmiin sisältyy usein niin suuria epävarmuuksia, että tärinämittauksiin perustuva arviointitaso 3 on usein perusteltua. Arviointitasoa 3 käytetään erityisesti silloin, kun tärinän arvioidaan vahvistuvan merkittävästi rakennuksissa.

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

Tarkasteltavan alueen maapohja on maakerrosten suhteen varsin pienipiirteistä. Tämä vaikeuttaa tärinän laskennallista arviointia. Rata on perustettu pääosin pienialaisten pehmeikköalueiden: savi, siltti (hiesu) ja

hiekan (hieta ja hiekka) varaan. Radan lähiympäristössä maanpinta nousee paikoin rata-aluetta korkeammalla. Näillä moreenialueilla tärinä ei ole yleensä häiritsevää. Maaperätiedot perustuvat maaperäkarttatietoihin (liite 1).

Ratahallintokeskuksen Rateteknisissä ohjeissa (RATO), osassa 3 Radan rakenne, sovelletaan tärinänmittauskäytäntöä, jonka perusteella voidaan arvioida tärinän aiheuttamaa ihmisten kokemaa häiriötä (*VTT, Tiedotteita 2278, 2004)*. Tärinän ohje-arvot perustuvat tärinän heilahdusnopeuden taajuuspainotetun tehollisarvon mittaamisen perusteella tilastollisesti määritettyyn värähtelyn tunnuslukuun $\mathbf{v_{w,95}}$ (taulukko 1 ja liite 2).

Tehollisarvo, jossa yksittäiset huippuarvot tasoittuvat, kuvaa paremmin tärinän aiheuttaa haittaa ihmisen häiriintymiselle kuin huippuarvo, joka soveltuu paremmin rakenteiden vaurioitumistarkasteluihin (liite 2).

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

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

RATO:n mukaan värähtelyluokkaa C suositellaan käytettäväksi uusien rakennusten suunnittelussa olemassa olevien ratojen läheisyydessä.

Taulukkoa ei sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai muut kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä (esim. toimistot, kaupat, kahvilat, ostoskeskukset, tavaratalot, liikuntatilat). Näille muille toiminnoille voidaan soveltaa taulukon 2 arvoja.

***Taulukko 2**.Rakennusten värähtelyluokitus (ISO 2631-2, Evaluation of human exposure to whole-body vibration- Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz).*

Värähtelyolosuhteet	v_{rms} (mm/s)
Sairaalat, teatterit, laboratoriot	< 0,10
Asuinalueet	< 0,20…0,40
Toimistot	< 0,40
Työtilat, teollisuus	< 0,80

2 Tärinän arviointi ennustusmallien perusteella

Tärinäselvityksessä on sovellettu VTT:n suositusta liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa (VTT 2006, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, Working Papers 50), Koska ennustusmalli antaa tulokseksi värähtelyn heilahdusnopeuden maksimiarvon tunnusluvun $\mathbf{v_{max\ 95}}$, se on muutettu värähtelyn taajuuspainotetuksi tunnusluvuksi $\mathbf{v_{w,95}}$ kertoimella 0,4 (40%). Yleensä liikennetärinän taajuuspainotettu heilahdusnopeuden tehollisarvo ja samalla värähtelyn tunnusluku $\mathbf{v_{w,95}}$ on noin 30…50 % tärinän huippuarvosta ja sen tunnusluvusta $\mathbf{v_{max\ 95}}$ ($v_{max\ 95} = v_{max\ ka} + 1{,}8\ \sigma$, ks. liite 2).

Ennustusmallissa on mitoittavan tavarajunan suurin paino 1800 tonnia (ks. kohta 1).

Malli (1) laskee heilahdusnopeuden V_B maassa tai rakennuksessa.

$$V_B = V_o\ (D_o / D)^B\ K_D\ K_S\ K_G\ K_R\ K_B \qquad (1)$$

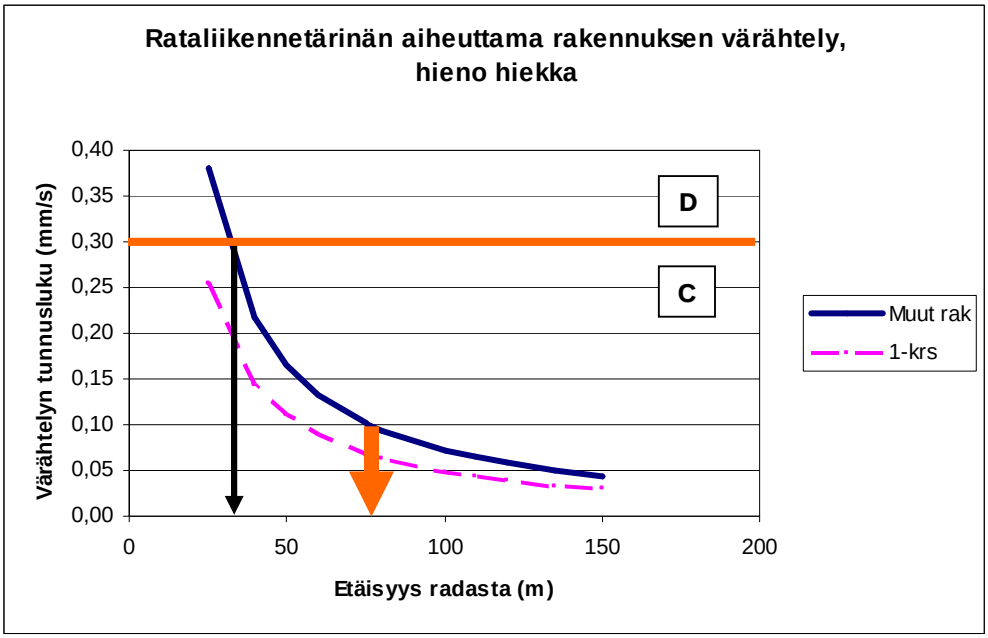
V_o on pystysuora perusheilahdusnopeus maassa etäisyydellä 15 m, D on etäisyys ja D_o vertailuetäisyys 15 m. Tärinän vaimenemista etäisyyden suhteen kuvaa etäisyyseksponentti B. K_S on nopeuskerroin, K_G junan painokerroin ja K_R radan kunnosta riippuva kerroin.

K_B tärinän arvioitu vahvistuskerroin rakennuksissa. Koska varsinaisia tärinämittauksia ei ole tehty, tärinän vahvistuminen arvioidaan tasainen voimistumisen mukaisesti ja kerroin on silloin 1,5 lähes kaikille rakennuksille. Yksikerroksisilla rakennuksilla, joissa on maanvarainen laatta, kerroin on yksi. Tämä tarkoittaa sitä, että tärinän arvioidaan voimistuvan rakennuksissa ja olevan yleensä 1,5 kertaa suurempaa kuin maassa rakennuksen vieressä. **(VTT:n tiedote: Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, 2008).**

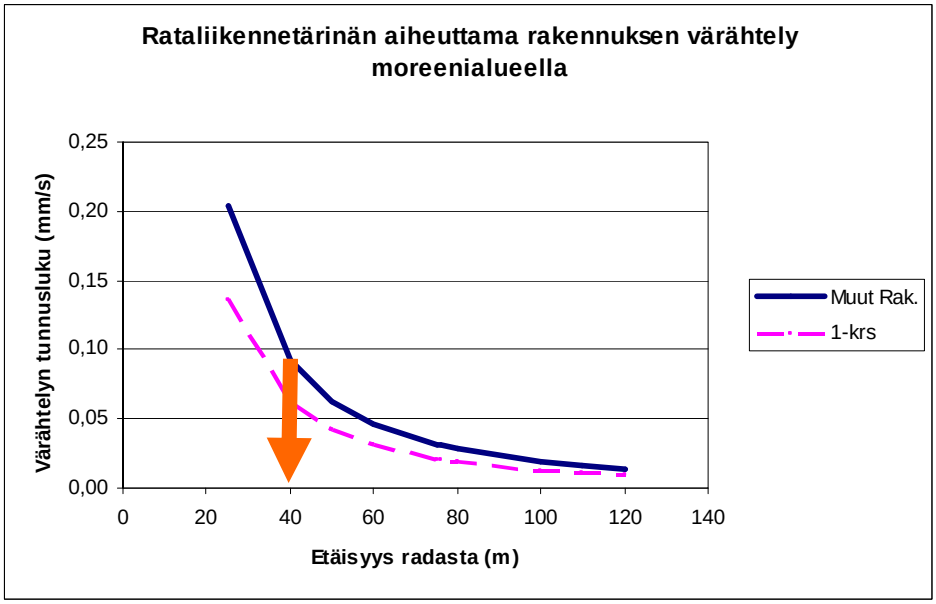
Laskennallinen tarkastelu ottaa puutteellisesti huomioon tärinän vahvistumisen rakenteissa. Resonanssitilanteessa voi kaksikerroksisen rakennuksen rungon vaakasuuntainen värähtely vahvistua kokemuksen perusteella nelinkertaiseksi ja kaikkien rakennusten välipohjien pystyvärähtely kuusinkertaiseksi. Vahvistumisen tarkempi määritys edellyttäisi tietoa tärinän taajuudesta, jota ei laskennallisesti voida olemassa olevien ohjeiden perusteella määrittää. Tästä syystä on vahvistumisen vaikutusta arvioitu erikseen aikaisempien kokemusten perusteella.

Koska tärinänarviointi perustuu laskentaan, on varmuuskertoimena käytetty arvoa 2. Tällä varmuuskertoimella on kerrottu tärinän laskennalliset arvot.

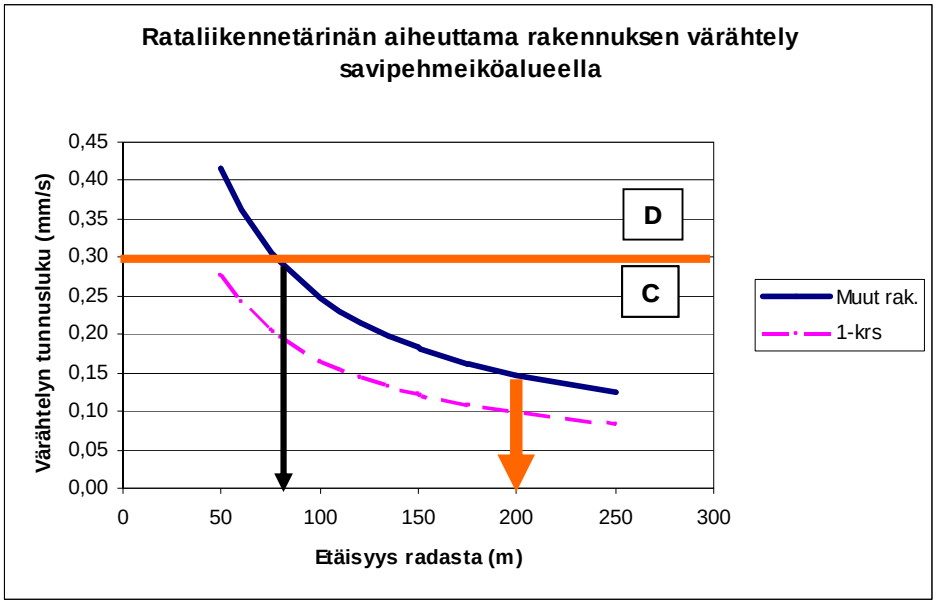
Suunniteltujen rakennusten ennustusmallin mukaan arvioidut tärinätasot on esitetty kuvissa 1, 2, 3 ja 4, kun vahvistumiskerroin K_B on ohjeiden mukainen 1,5. Kuvissa on erikseen esitetty aikaisemmin mainitun kokemusperäisen arvioinnin mukaisen vahvistumisen edellyttämä suurempi turvaetäisyys. Yksikerroksisessa rakennuksessa, jossa on maanvastainen lattia, ei vahvistumista tarvitse tarkastella.



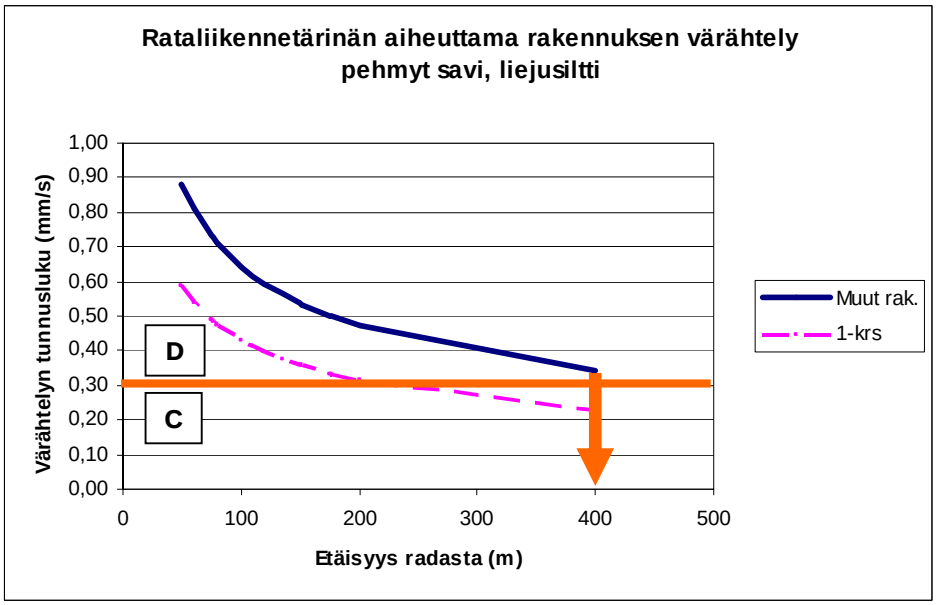
Kuva 1. *Laskennallisesti arvioitu värähtelyn tunnusluku rakennuksissa hiekka-alueella. Mustan nuolen kohdalla on välipohjallisten rakennusten turvaetäisyys noin 30 metriä (K_B = 1,5). Kokemusperäisen vahvistumisarvioinnin mukainen turvaetäisyys on punaisen nuolen mukainen, noin 80 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja 0,30 mm/s.*



Kuva 2. *Laskennallisesti arvioitu värähtelyn tunnusluku rakennuksissa moreeni-alueella. Tämä turvaetäisyys on pieni alle 20 metriä. Kokemusperäisen vahvistumisarvioinnin mukainen turvaetäisyys on punaisen nuolen mukainen noin 40 metriä.*



Kuva 3. *Laskennallisesti arvioitu värähtelyn tunnusluku rakennuksissa savipehmeiköllä. Mustan nuolen kohdalla on välipohjallisten rakennusten turvaetäisyys noin 80 metriä. Kokemusperäisen vahvistumisarvioinnin mukainen turvaetäisyys on punaisen nuolen mukainen noin 200 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja 0,30 mm/s.*



Kuva 4. . *Laskennallisesti arvioitu värähtelyn tunnusluku rakennuksissa pehmeän saven ja eloperäisten liejusilttien alueella. Kokemusperäisen vahvistumisarvioinnin mukainen turvaetäisyys on punaisen nuolen kohdalla noin 400 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja 0,30 mm/s.*

Kun tavoitteena on C-luokka (taulukko 1), on suositeltavaa että välipohjalliset rakennukset suunnitellaan hienon hiekan alueella vähintään 80 metrin etäisyydelle radasta (kuva 1). Moreenialueella vastaava etäisyys on 40 metriä (kuva 2), tavanomaisella pehmeikköalueella 200 metriä (kuva 3) ja erittäin pehmeän saven ja eloperäisten silttien alueella 400 metriä (kuva 4).

Yksikerroksisilla rakennuksilla, joissa on maanvarainen lattia, vastaavat etäisyydet ovat hienolla hiekalla noin 30 metriä, moreenilla noin 20 tavanomaisella pehmeikköalueella noin 80 metriä ja erittäin pehmeillä savi- ja liejusilttialueilla noin 200 metriä.

Tärinämittausten perusteella voidaan edellä esitettyjä suositeltavia turvaetäisyyksiä tarkentaa.

3 Runkomelu

Maassa liikkuva tärinä voi siirryttyään rakenteisiin heijastua kuultavaksi runkomeluksi. Maaliikenteessä runkomelua esiintyy yleensä taajuusalueella 16 – 250 Hz. Asuinrakennuksissa avoratojen ympäristössä runkomelun tunnusluvun L_{pAAmax} arvon suositellaan olevan pienempi kuin 35 dB. Tällöinkin melu on vielä aistittavissa ja sillä voi olla vähäinen häiriövaikutus (**VTT Tiedotteita, Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, 2009)**.

Runkomelun arviointi voidaan tehdä kolmella menetelmällä. Ensimmäinen perustuu varoetäisyyksien käyttöön, toinen taso perustuu laskennalliseen tarkasteluun ja kolmas mittauksiin. Tässä selvityksessä runkomelua tarkastellaan varoetäisyyksiin perustuen ja laskennallisesti.

Varoetäisyystarkastelun mukainen etäisyys radasta, jota kauempana tarkempi tarkastelu ei ole tarpeen, on kaikilla pehmeikköalueilla noin 50 metriä ja hiekka- sekä moreenimaapohjalla vastaavasti noin 80 metriä.

4 Yhteenveto

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy on tehnyt tärinäselvityksen Nakkilan taajamaosayleiskaavaan liittyen helmi-maaliskuussa 2013.

Tärinäselvityksen tärinähaitan arviointi perustuu laskennallisiin tarkasteluihin. Tarkasteltavan alueen maapohja on maaperäkartan perusteella maakerrosten suhteen varsin pienipiirteistä. Tämä vaikeuttaa tärinän laskennallista arviointia. Selvityksessä sovellettiin värähtelyluokan C ohjearvoja (taulukko 1). Runkomelun suuruus arvioitiin lähinnä VTT:n ohjeiden perusteella.

Laskennallisesti määritetyt turvaetäisyydet on esitetty liitekartassa 1. Karttaesitys on tehty ottaen huomioon maapohjan vaihtelu radan alla ja sen ympäristössä. Siinä on esitetty yhteenvetomaisesti ja yleistäen kohtien 2 ja 3 laskennalliset tarkastelut. Turvaetäisyyksissä on otettu huomioon myös runkomelun arvioidut vaikutukset.

Rautatieliikenteen turvaetäisyydet asuinrakennusten suunnittelua varten ovat:

1. Hienon hiekan alue

   Turvaetäisyys on 80 metriä.

2. Moreenialue, rata pehmeiköllä tai hienon hiekan alueella.

   Turvaetäisyys on 80 metriä.

3. Tavanomaisen saven alue

   Turvaetäisyys on yleensä 200 metriä. Yksikerroksiset rakennukset, joissa on maanvastainen lattia, turvaetäisyys on 80 metriä.

4. Erittäin pehmeän saven ja liejuisen siltin alue

   Turvaetäisyys on yleensä 400 metriä. Yksikerroksiset rakennukset, joissa on maanvastainen lattia, turvaetäisyys on 200 metriä

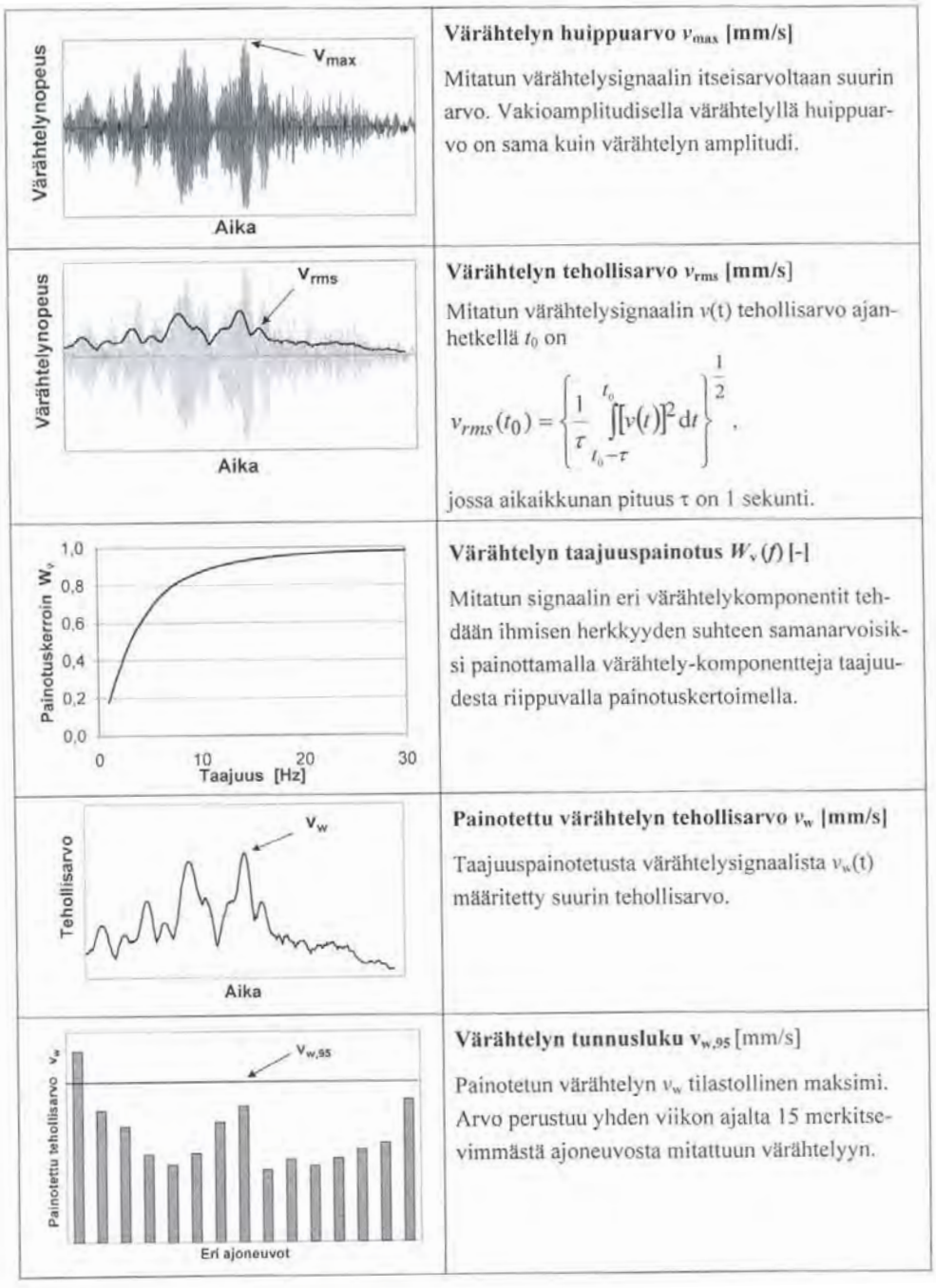
Turvaetäisyyksiä voidaan tarkentaa tärinämittausten perusteella. Tärinämittaustarve tarkentuu kaavoitustyön edistyessä.

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy

Sami Kurkela
Aluepäällikkö,ins.YAMK.

Matti Hakulinen
Johtava asiantuntija, TkL

LIITE 2, TÄRINÄN KUVAAMISEN KÄSITTEITÄ



Värähtelyn huippuarvo v_{max} [mm/s]

Mitatun värähtelysignaalin itseisarvoltaan suurin arvo. Vakioamplitudisella värähtelyllä huippuarvo on sama kuin värähtelyn amplitudi.

Värähtelyn tehollisarvo v_{rms} [mm/s]

Mitatun värähtelysignaalin $v(t)$ tehollisarvo ajanhetkellä t_0 on

$$v_{rms}(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [v(t)]^2 \, dt \right\}^{\frac{1}{2}},$$

jossa aikaikkunan pituus τ on 1 sekunti.

Värähtelyn taajuuspainotus $W_v(f)$ [-]

Mitatun signaalin eri värähtelykomponentit tehdään ihmisen herkkyyden suhteen samanarvoisiksi painottamalla värähtely-komponentteja taajuudesta riippuvalla painotuskertoimella.

Painotettu värähtelyn tehollisarvo v_w [mm/s]

Taajuuspainotetusta värähtelysignaalista $v_w(t)$ määritetty suurin tehollisarvo.

Värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$ [mm/s]

Painotetun värähtelyn v_w tilastollinen maksimi. Arvo perustuu yhden viikon ajalta 15 merkitsevimmästä ajoneuvosta mitattuun värähtelyyn.

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

$v_{w\,ka}$ on 15 suurimman värähtelyn keskiarvo
σ on 15 suurimman värähtelyn keskihajonta

Turvaetäisyydet:

400 m (200 m)
200 m (80 m)
80 m

Maaperäkartta

Pohjamaalaji (RT)

- Kalliomaa (Ka)
- Rapakallio (RpKa)
- Rakka (RaKa)
- Lohkareita (Lo)
- Kiviä (Ki)
- Hiekkamoreeni (Mr); Soramoreeni (SrMr)
- Hienoainesmoreeni (HMr)
- Sora (Sr)
- Hiekka (Hk)
- liejuinen Hiekka (LjHk)
- karkea Hieta (KHt)
- liejuinen Hieta (karkea) (LjHt)
- hieno Hieta (HHt)
- liejuinen hieno Hieta (LjHHt)
- Hiesu (Hs)
- Liejuhiesu (LjHs)
- Savi (Sa)
- Liejusavi (LjSa)
- Rahkaturve (St)
- Saraturve (Ct)
- Turvetuotantoalue (Tu)
- Lieju (Lj)
- Vesi (Ve)
- Täytemaa (Ta)
- Kartoittamaton (0)

1km

Liite 1
Rautatieliikennetärinän turvaetäisyydet 21.3.2013

NAKKILA Taajamaosayleiskaava ja osayleiskaavan tarkistus	Nähtävillä Valtuusto
FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy Pyhäjärvenkatu 1, 33200 Tampere Puh. 0104090 www.fcg.fi	Suunnitteluala, työnumero ja piirustuksen numero 1:10000 YKS P11420P004 901E Tiedosto Nakkila_kaavaehdotus.dwg
Päiväys 5.1.2013 Pääsuunn. Johanna Närhi, arkkitehti YKS-490 Hyv. Jani Sillanpää, FM, aluepäällikkö	Suunn./Piirt. Pekka Seppänen Tarkastaja Helena Ylinen, arkkitehti SAFA YKS-305 Yhteyshenkilö Johanna Närhi A S

NAKKILA

HARJAVALTA

Pirilä