

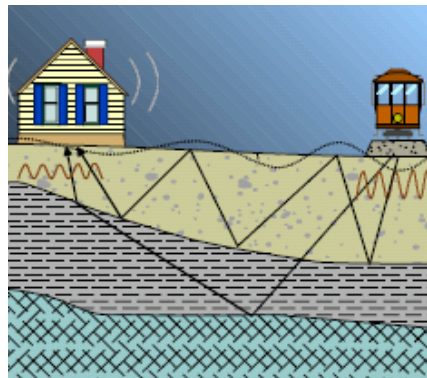
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Rakennustekniikka

Ympäristörakentaminen

INSINÖÖRITYÖ

**RAIDELIIKENNETÄRINÄ,
PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN JA
TÄRINÄKOhteiden KARTOITUS SUOMESSA**



**Työn tekijä: Kaisa Kaaresoja
Työn valvoja: Jari Heikkilä
Työn ohjaajat: Arto Hovi,
Anne Määttä**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**Jari Heikkilä
lehtori, DI**



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin Ratahallintokeskukselle. Tässä työssä on tutkittu raideliikennetärinää ja sen haittavaikutuksia sekä kartoitettu tärinäkohteiden nykytilan laajuutta. Tärinän haittavaikutuksia ovat ihmisten viihtyvyyden alenemiseen liittyvät haitat sekä rakennuksille aiheutuva mahdollinen vaurioitumisriski. Tämä työ on olennainen osa Ratahallintokeskuksen ympäristöohjelman toimeenpanoa.

Haluan esittää parhaimmat kiitokseni Ratahallintokeskuksen ympäristöyksikön päällikölle Arto Hoville tämän työn tekemisen mahdollisuudesta. Esitän myös kiitokset Ratahallintokeskuksen ylitarkastajille Tuomo Viitalalle ja Jussi Lindbergille, sekä melu- ja tärinäasiantuntija Erkki Poikolaiselle asiantuntevasta tuesta työn etenemisessä.

Työn tekemisessä minua ovat suuresti auttaneet työn ohjaaja liikennetärinän asiantuntija Anne Määttä, ympäristöselvitykset-osaston osastopäällikkö Tiina Kähö sekä paikkatiedon asiantuntija Keijo Koskinen Sito Oy:stä ja haluankin esittää parhaimmat kiitokseni heille.

Kiitän työn valvojaa Jari Heikkilää avusta työn valmistumisessa. Kiitos myös suomen kielen ja viestinnän opettaja Tuomo Suorsalle sekä englannin kielen opettaja Anu Pekkariselle työni kieliasun tarkistamisesta.

Suuri Kiitos Juhalle ja Piille.

Espoossa 10.4.2007

Kaisa Kaaresoja

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Kaisa Kaaresoja	
Työn nimi: Raideliikennetärinä, Paikkatietojärjestelmän kehittäminen ja tärinäkohteiden kartoitus Suomessa	
Päivämäärä: 10.4.2007	Sivumäärä: 55 s. + 6 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Ympäristörakentaminen
Työn valvoja: Jari Heikkilä, Stadia	
Työn ohjaajat: Arto Hovi, Ratahallintokeskus; Anne Määttä, Sito Oy	
<p>Ratahallintokeskuksella (RHK) on ympäristöstrategia, joka toimii vuosittain päivitetävän ympäristöohjelman lähtökohtana. Ympäristöstrategia koostuu osastrategioista, joita ovat muun muassa melun ja tärinän osastrategiat. Ympäristöohjelman keskeisiä tavoitteita ovat esimerkiksi uusien ympäristöhaittojen ehkäiseminen, ympäristökuormituksen vähentäminen ja haittojen poistaminen. Ympäristöohjelmassa painotetaan muun muassa rautatieliikenteen melu- ja tärinäongelmien vähentämistä. Tässä työssä tehty tärinäkohteiden kartoitus on olennainen osa ympäristöohjelman toimeenpanoa.</p> <p>Työn päätavoite oli koota Ratahallintokeskuksessa oleva tärinäkohteisiin liittyvä materiaali ja viedä se paikkatieto-ohjelmaan sekä luoda tärinäkohteista digitaalinen paikkatietokartta ArcView-ohjelman avulla.</p> <p>Työ voidaan jakaa neljään osaan. Teoriaosuuden ensimmäisessä osassa paneudutaan tärinän kokemiseen ja sen haittavaikutuksiin sekä tärinän fysikaalisiin perusteisiin ja maaperän vaikutuksiin tärinän leviämässä ja siirtymisessä. Toisessa osassa selvitetään raideliikennetärinän erityispiirteitä sekä sitä, miten raideliikennetärinän leviämistä tutkitaan matemaattisesti. Toisessa osassa käsitellään myös tärinän mittaamiseen liittyvät ja siinä vaadittavat erityispiirteet. Työn kolmannessa osassa kerrotaan, miten työn päätavoite toteutettiin eli tärinäkohteiden nykytila kartoitettiin. Neljännessä osassa tarkastellaan liikennetärinän kansainvälisiä standardeja ja ohjeita.</p> <p>Työn tuloksena syntynyt paikkatietoaineisto on Ratahallintokeskukselle tärkeä työkalu tärinäkohteiden tiedonhallintaan. Tietokanta luotiin sellaiseksi, että uusien tärinäkohteiden vieminen järjestelmään on mahdollista. Paikkatietomuotoinen aineisto on yleistymässä tärkeänä tiedonhallinnan välineenä RHK:ssa. Tärinäkohteisiin liittyvä paikkatietoaineisto tulee olemaan osa Ratahallintokeskuksen laajempaa tietojärjestelmää.</p> <p>Raideliikennetärinän tiedonhallinnan parantamiseksi voidaan paikkatietoaineistoon esimerkiksi yhdistää pehmeikkökisteritiedot ja asukasmäärät. Näiden tietojen avulla uusia asuinalueita kaavoitettaessa voidaan paremmin tunnistaa, mitkä alueet ovat tärinän kannalta mahdolliset riskialueet.</p> <p>Tässä työssä RHK:n kanssa määritetyt ominaisuustiedot ja tietojen kuvaukset tulisi jatkossa ottaa käyttöön uusissa tärinään liittyvissä selvityksissä. Ominaisuustietojen avulla tullaan tekemään ohjeet jossa määritetään uusissa tärinään liittyvissä raporteissa esitettävät tiedot.</p>	
Avainsanat: värähtely, tärinä, liikennetärinä, raideliikennetärinä, paikkatieto	

ABSTRACT

Name: Kaisa Kaaresoja	
Title: Railway Traffic Induced Vibration. Creating the GIS-system and Mapping the Nuisance Point of Vibration in Finland	
Date: 10 th April 2007	Number of pages: 55 + 6 appendix
Department: Civil Engineering	Study Programme: Environmental Engineering
Instructor: Jari Heikkilä, Stadia	
Supervisor: The Finnish Rail Administration, Arto Hovi and Sito-Oy, Anne Määttä	
<p>Vibration has a significantly negative impact on rail traffic. The Finnish Rail Administration (RHK) is carrying out an annual updated Environmental programme, which includes a vibration strategy. With this program RHK tries to find the way to eliminate vibration problems and mitigate effects of the railway traffic-induced vibration. The new environmental programme enables to achieve these goals. This study is a part of creating an environmental programme by mapping the nuisance vibration points in Finland.</p> <p>The main aim of this study was to create a digital map with GIS-program ArcView. The digital map includes the nuisance points of vibration. GIS-system includes a lot of specific information connected to the vibration points.</p> <p>The study consists of four parts. The first part of the theoretical framework of the study consists of the vibration nuisance and the basic physical theories on vibration. Furthermore, the special features of the railway traffic-induced vibration and vibration measurements are examined. The railway traffic-induced formulas are studied accurately. The third part of the study focuses on how the digital map has been created. The fourth part of the study focuses on the international standards of the traffic-induced vibration.</p> <p>With the digital map and the GIS-system, The Finnish Rail Administration could update the new points of vibration. The GIS-data bank will be an important tool to manage information of the railway-induced vibration.</p> <p>In the future it would be important if the digital map included a register of the soft soil and the amount of the residents. This information could be used in new residential areas in land use planning processes and in identifying the risk areas.</p> <p>There is a need for equalising the method of vibration measurement, reporting and classification systems. In the future, instruction will be made, which will help to achieve these goals.</p>	
Keywords: vibration, traffic-induced vibration, railway traffic-induced vibration, GIS	

SISÄLLYS

KÄSITELUETTELO

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	TÄRINÄ	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Lait ja asetukset	2
2.3	Tärinän kokeminen	3
2.3.1	Tärinän haittavaikutukset	3
2.4	Tärinän fysikaaliset perusteet	4
2.4.1	Värähtely	4
2.4.2	Aaltotyypit	6
2.5	Maapohjan vaikutus tärinään	7
2.5.1	Pehmeiden maalajien esiintyminen Suomessa	9
2.5.2	Leikkausaallon etenemisnopeus	9
2.6	Maaperän värähtelyn siirtyminen rakennuksiin	10
2.6.1	Rakennuksen värähtelymuodot	11
2.6.2	Lattiavärähtely	12
2.6.3	Resonanssi	12
2.6.4	Ihmisen herkkyys liikennetärinöille	13
3	RAIDELIIKENNETÄRINÄ	14
3.1	Yleistä	14
3.2	Raideliikennetärinän syntyminen	14
3.2.1	Juna herätelähteenä	14
3.2.2	Interferenssi	15
3.2.3	Radan vaikutus	15
3.2.4	Kaluston vaikutus	16
3.2.5	Raideliikennetärinän vaikutusalue eri maalajeilla	17
3.3	Raideliikennetärinän leviämisen laskentamalli	17
3.3.1	Perusyhtälö	18
3.3.2	Vertailuheilaidusnopeus	18
3.3.3	Etäisyyskerroin	19
3.3.4	Nopeuskerroin	19
3.3.5	Junan painokerroin	20
3.3.6	Radan kunnosta riippuva kerroin	20

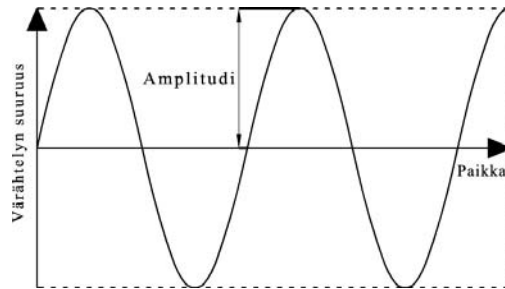
3.3.7	<i>Tärinän vahvistumiskerroin rakennuksissa</i>	20
3.3.8	<i>Laskentamallin käyttö yhdessä mittausten kanssa</i>	21
3.4	Laskentamalliin perustuva laskentaohjelma	21
3.4.1	<i>Laskentamallien arviointi</i>	21
3.5	Tärinän arviointi mittaamalla	22
3.5.1	<i>Tärinämittareista ja mittaustavoista</i>	22
3.5.2	<i>Mittausaineiston analysointi</i>	23
3.5.3	<i>Mittaukset rakennuksissa</i>	24
3.5.4	<i>VTT:n suositus rakennusten vaurioitumisriskin kannalta</i>	24
3.5.5	<i>Mittaukset maaperässä</i>	26
3.6	Värähtelyn tehollisarvon määrittäminen	26
3.6.1	<i>Norjan standardi NS 8176 (1999) ja värähtelyn tunnusluku</i>	29
3.6.2	<i>Tunnusluvun laskeminen</i>	31
4	TÄRINÄKOHTEIDEN KARTOITUS JA PAIKKATIETO-OHJELMA	32
4.1	Taustaa	32
4.1.1	<i>Tärinäkohteet</i>	33
4.1.2	<i>Yhteydenotot</i>	33
4.1.3	<i>Katselmukset</i>	33
4.1.4	<i>Mittaukset</i>	34
4.2	Tietokannan muodostaminen	36
4.2.1	<i>Tietokantaan viedyt tärinäkohteet</i>	36
4.2.2	<i>Tietokannan hyödyntäminen</i>	38
5	LIIKENNETÄRINÄÄN LIITTYVÄT KANSAINVÄLISET STANDARDIT	39
5.1	ISO-standardit	39
5.1.1	<i>Värähtelyn suositusarvot</i>	41
5.2	Pohjoismaiset standardit ja ohjeet	42
5.2.1	<i>Norjan standardi</i>	42
5.2.2	<i>Ruotsin ohjeet</i>	43
5.3	DIN-4150-2 (1999) -standardi	43
5.3.1	<i>Värähtelyn suositusarvot</i>	45
5.4	Hollannin ohjeistus tärinälle	46
5.4.1	<i>Suositusarvojen valinta</i>	46
5.4.2	<i>Suositusarvojen ylittyminen</i>	48
5.5	USA:n ohjeet	48
5.6	Kansainvälisten standardien ja ohjeiden yhteenveto	50
6	YHTEENVETO	52
	VIITELUETTELO	54

LIITTEET

- LIITE 1 Maapohjatyypien ominaisuuksia**
- LIITE 2 Kartta Suomen yleistetystä maaperägeologisesta rakenteesta**
- LIITE 3 Laskentamalli värinän leviämisen laskemiseksi**
- LIITE 4 Esimerkki mittausraportista**
- LIITE 5 Paikkatietoaineiston ominaisuustiedot ja kuvaukset**
- LIITE 6 Paikkatietokartan tulosteet**

KÄSITELUETTELO

Amplitudi Amplitudi ilmaisee värähtelyliikkeen laajuutta sekä värähtelyliikkeen maksimipoikkeamaa tasapainoasemasta. Amplitudi on puolet värähtelyn vaihteluvälistä.



Geofoni Geofoni on ilmaisilaite, jolla maanpinnan mekaaninen liike muutetaan sähköiseksi jännitesignaaliksi.

GIS Geographic Information System. Paikkatietojärjestelmä, jolla voidaan tallentaa, analysoida, hallita ja esittää paikkatietoa.

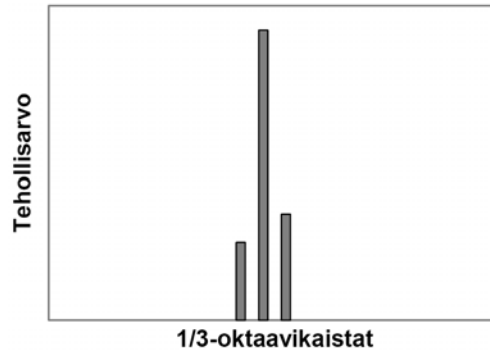
Heräte Heräte tarkoittaa värähtelyn aiheuttavaa tekijää. Liikenteessä heräte voi aiheutua esimerkiksi kulkuvälineestä ja väylän epätasaisuuksista.

Interferenssi

Interferenssi tarkoittaa kahden tai useamman värähtelyaallon summautumista. Samassa vaiheessa olevat aallot vahvistavat ja vastakkaisissa vaiheissa olevat aallot vaimentavat toisiaan.

Kapeakaistainen värähtely

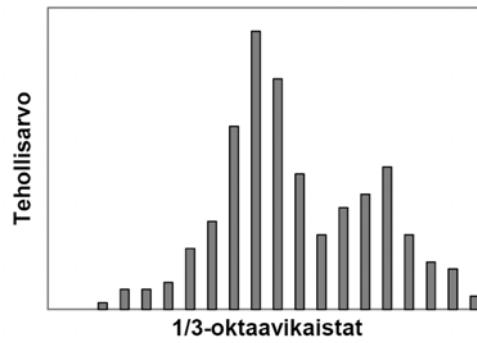
Värähtely sisältää vain kapealla taajuusalueella olevia värähtelykomponentteja.



KKJ Kartastokoordinaattijärjestelmä. Suomessa tasokoordinaattien määrittämisen perustana käytettävä koordinaattijärjestelmä.

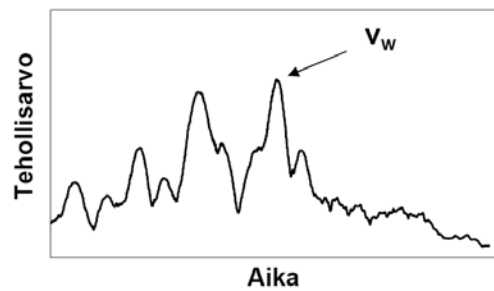
Kolmannesoktaavikaista

Taajuuskaistat, joiden keskitaajuudet Hz ovat ...1; 1,25; 1,6; 2...40; 50; 63; 80.



Painotettu värähtelyn tehollisarvo v_w (mm/s)

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



Resonanssi

Resonanssilla tarkoitetaan värähtelyn voimistumista. Resonanssi aiheutuu herätteestä, jonka aiheuttaman värähtelyn taajuus vastaa rakenteen ominaistaajuutta.

Triggaus Tärinänmittauslaitteissa käytettävä laukaisintoiminto, jolla mittaukset saadaan ajoitettua haluttuun hetkeen. Usein käytetään kynnyсарvoa eli triggausarvoa, jonka ylittyessä mittaus käynnistyy automaattisesti.

$v_{\max, \text{long}}$ Heilahdusnopeuden radan suuntainen vaakakomponentti.

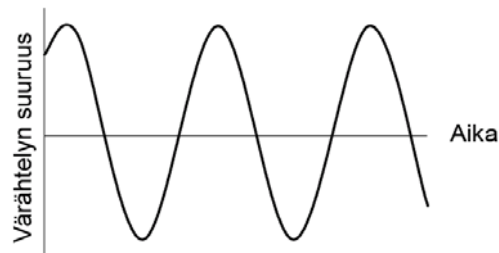
$v_{\max, \text{tran}}$ Heilahdusnopeuden rataa vastaan kohtisuora vaakakomponentti.

$v_{\max, \text{vert}}$ Heilahdusnopeuden pystykomponentti.

v_{res} Resultoiva heilahdusnopeus, kolmen suunnan komponenttien vektorisumma.

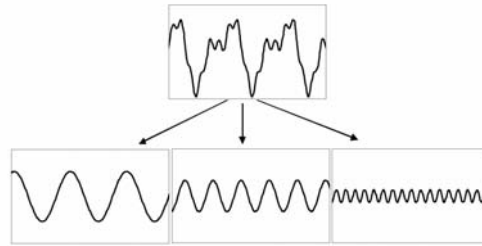
Vakioamplitudinen värähtely

Siniaallon muotoinen värähtely.



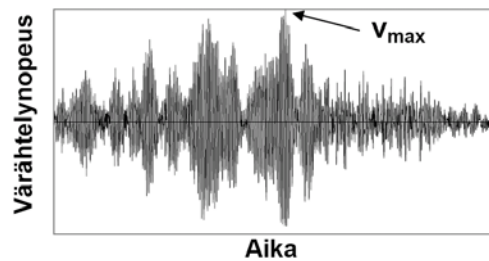
Värähtelykomponentti

Useasta taajuuskomponentista muodostuvan värähtelyn yksi vakioamplitudinen komponentti.



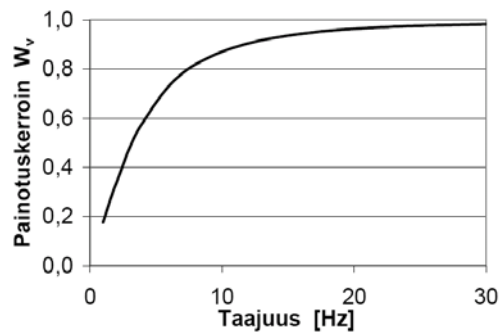
Värähtelyn huippuarvo v_{\max} (mm/s)

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



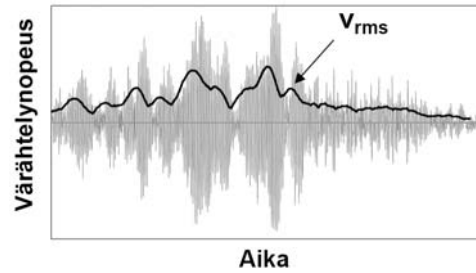
Värähtelyn taajuuspainotus W_v (f)

Mitatun signaalin eri värähtelykomponentit tehdään ihmisen herkkyyden suhteen samanarvoisiksi painottamalla värähtelykomponentteja taajuudesta riippuvalla painotuskertoimella.



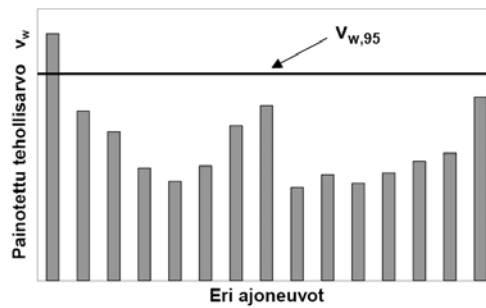
Värähtelyn tehollisarvo v_{rms} (mm/s)

Mitatun värähtelysignaalin arvo, jossa yksittäiset huippuarvot tasoittuvat.



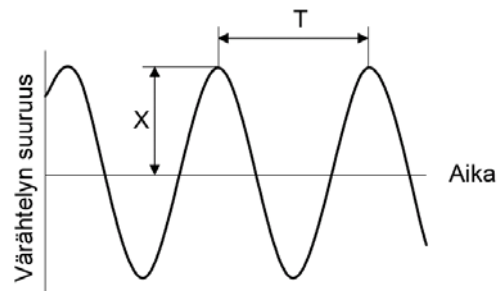
Värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$

Painotetun värähtelyn $v_{w,95}$ tilastollinen maksimi. Arvo perustuu yhden viikon ajalta 15 merkitsevimmästä ajoneuvosta mitattuun värähtelyyn.



Värähtelytaajuus

Vakioamplitudisen värähtelyn vakiojaksojen lukumäärä sekunnissa. Kun yhden värähtelyjakson kesto on T sekuntia, värähtelytaajuus $f = 1/T$. Värähtelytaajuutta kutsutaan usein myös frekvenssiksi.



1 JOHDANTO

Raideliikenteen aiheuttama tärinä on liikennemelun kaltainen ympäristöhaitta, johon tulisi jo kaavoitusvaiheessa kiinnittää huomiota. Liikennetärinän aiheuttamat haitat tunnetaan vielä suhteellisen huonosti, joten tärinän haittoja ei kyetä arvioimaan riittävän luotettavasti.

Työn päätarkoitus on tärinäkohteiden nykytilanteen ja laajuuden kartoitus, joka on osa Ratahallintokeskuksen tärinästrategian luomista ja ympäristöohjelman toimeenpanoa. Työssä käsitellään raideliikennetärinää asumisviihtyvyyteen vaikuttavana ongelmana sekä tärinän mahdollista vaikutusta rakennusten ja rakenteiden vaurioitumiseen. Tutkimus pohjautuu jo rakennettujen alueiden tärinän tarkasteluun. Työ ei käsittele rakennuksen sisälle siirtyvien tärinästä aiheutuvien runkoäänien arviointia.

Työn rakenne on neliosainen. Ensin käsitellään värähtelyjä fysikaalisena ilmiönä ja maaperän vaikutuksista tärinän leviämiseen ja siirtymiseen sekä värähtelyn siirtymistä rakennuksiin ja sitä kautta sen vaikutuksesta ihmiseen.

Toisessa osassa käsitellään raideliikennetärinän syntymistä ja erityispiirteitä sekä miten tärinän leviämistä tarkastellaan matemaattisesti. Myös tärinän mittaukseen liittyvät erityispiirteet käsitellään tässä osassa.

Kolmannessa osassa käsitellään tärinäkohteiden nykytilan kartoitusta. Siinä selvitetään, miten Ratahallintokeskuksen tärinähaittoihin liittyvä materiaali koottiin ja vietiin paikkatieto-ohjelmaan ja miten niistä luotiin digitaalinen paikkatietoaineisto ArcView- ohjelman avulla.

Viimeisessä osassa paneudutaan kansainvälisiin tärinästandardeihin ja ohjeisiin. Siinä käsitellään pääpiirteissään kansainväliset standardit ISO-2631-1 (1997), sekä ISO 2631-2 (1989), Ruotsin ohjeet Banverket (1997), Norjan standardi NS 8176 (1999), Saksan standardi DIN 4150-2 (1999), Hollannin ohjeet SBR-Richtlijn (2002) sekä USA:n ohjeet FRA (1998).

2 TÄRINÄ

2.1 Yleistä

Asutuksen keskittyminen ratojen läheisyyteen on koko ajan yleistymässä. Myös raskaan tavarajunakaluston määrän lisääntyminen sekä junien nopeuksien kasvu lisäävät huomattavasti ratojen varsien tärinäongelmaa. Tärinä on luokiteltava melun kaltaiseksi ympäristöhaitaksi. Tärinän ympäristövaikutusten selvitys on tullut tärkeäksi kriteeriksi tehtäessä kaavoitus- ja rakentamispäätöksiä. Tärinän aiheuttamat haitat sekä vaikutukset asuinmukavuuteen tunnetaan vielä huonosti eikä niiden mahdollisia vaikutuksia osata arvioida riittävästi. / 1, s. 9. / Tärinän vaikutus on otettava kaavoituksessa huomioon, kun suunnitellaan uusia asuntoja nykyisten liikenneväylien läheisyyteen tai rakennetaan uusia väyliä vanhoille asuinalueille / 13, s. 5 /.

2.2 Lait ja asetukset

Ympäristönsuojelulain (N:o 86/2000) tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista, joka aiheutuu ihmisen toiminnasta. Laki koskee myös tärinän päästämistä tai jättämistä ympäristöön, jos siitä on haittaa terveydelle, jos se vähentää yleistä viihtyvyyttä tai siitä on haittaa omaisuudelle. Yleisenä periaatteena on että haitalliset ympäristövaikutukset ehkäistään ennalta tai rajoitetaan ne mahdollisimman vähäisiksi. / 2. /

Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta (N:o 737/1994) asettaa vahingon aiheuttajan korvausvastuuseen. Laki suojaa yksityisen henkilön oikeuden saada korvaus myös tärinän aiheuttamasta haitasta tai vahingosta. Lain perusteella vahinko korvataan, ellei häiriön sietämistä ole pidettävä kohtuullisena. Tällöin on otettava huomioon paikalliset olosuhteet sekä häiriön syntyyn johtanut tilanne sekä häiriön yleisyys. / 3. /

Maankäyttö- ja rakennuslain (N:o 132/1999) nojalla annetussa Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa (N:o 895/1999) edellytetään kaavaa laadittaessa ottamaan huomioon vaikutukset ihmisten elinoloihin ja ympäristöön. / 4. /

Uudistetussa ympäristöministeriön asetuksessa pohjarakenteista (osa B3, 2004) liikenteen vaikutukset on esitetty otettavaksi huomioon. Asetuksessa

sanotaan, että ennen rakentamista on selvitettävä, että liikennetärinä ei aiheuta ihmisille kohtuutonta häiriötä. / 5. /

2.3 Tärinän kokeminen

Ihminen kokee liikenteen aiheuttaman tärinän epämiellyttävänä tuntemuksena kehossaan. Myös rakenteet ja esineet voivat tärinän vaikutuksesta heilua, heilua tai siirtyä. / 1, s.11. / Ihminen kykenee aistimaan erittäin pienet värähtelyt / 1, s.13 /. Kuitenkin tärinän kokeminen on yksilöllistä. Värähtelylähteellä (juna, metro, muu liikenne) ei ole todettu olevan merkitystä tärinän kokemisen herkkyyteen. Myöskään tärinän kokijan iällä, sukupuolella, sosiaalisella asemalla tai asuinalueella ei ole havaittu olevan oleellista merkitystä. / 13, s. 16. /

Ihmisten tärinänsietokyvyn on havaittu alentuneen / 6, s.154 /. Ympäristöasioihin ja asuinmukavuuteen liittyviin asioihin kiinnitetään yhä enemmän huomiota. Asumiseen liittyvät ongelmat ja häiriötekijät tiedostetaan entistä herkemmin ja näin ollen valittamiskynnys on laskenut. / 1, s.11. /

2.3.1 Tärinän haittavaikutukset

Ihminen kokee tärinän epämiellyttäväksi ja häiriötekijäksi paljon ennen kuin tärinä aiheuttaa vauriota rakenteille / 1, s.11 /. Tärinä, joka aiheutuu liikenteestä, riippuu useista eri tekijöistä ja epävarmuustekijöitä on paljon. Liikennetärinän arviointi perustuu suurelta osin ihmisten kokemusperäiseen tietoon. / 13, s.11. /

Tärinästä ihmiselle aiheutuvia haittoja ovat mm:

- asumismukavuuden väheneminen
- keskittymiskyvyn häiriintyminen
- nukkumisen häiriintyminen
- pelko rakennevaurioista
- pelko kiinteistön arvon alenemisesta / 1, s.11/.

2.4 Tärinän fysikaaliset perusteet

Tärinä on mekaanista värähtelyä tasapainoasemansa suhteen. Tärinässä materiaalin tietty, kuviteltavissa oleva piste hetkellisesti poikkeaa tasapainoasemastaan palatakseen tärinälähteen lakattua vaikuttamasta takaisin alkuperäiseen asemaansa. Tärinä syntyy siitä, että materiaalissa kulkeva paineaalto aikaansaa materiaalin hetkellisiä muodonmuutoksia, jotka ilmenevät mm. materiaalin pinnan siirtyminä. / 7, s. 4. /

2.4.1 Värähtely

Tärinä esiintyy kiinteissä aineissa värähtelynä ja yleensä se etenee aaltomaisesti. Värähtelyksi sanotaan liikettä, joka tapahtuu kappaleen tasapainoaseman ympärillä. Kappaleen liike ääriasennosta toiseen ja takaisin on yksi värähdys eli jakso. Värähdysajaksi eli jaksonajaksi T kutsutaan yhteen värähdykseen kuuluvaa aikaa. / 12, s 204. /

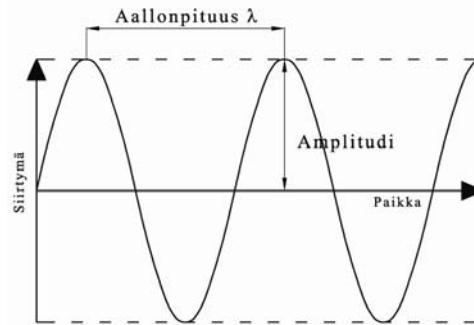
Värähtelyn yksikkö on taajuus eli frekvenssi (f), joka määritellään kaavassa 1. Taajuus ilmaisee kuinka paljon kappale luonnostaan värähtelee. Taajuus kuvaa systeemin ominaisvärähtelyjä ja tämän vuoksi sitä voidaan kutsua systeemin ominaistaajuudeksi. / 12, s 204, 208. /

$$f = \frac{1}{T} \text{ eli taajuus} = \frac{\text{värähtelyjen lukumäärä}}{\text{värähtelyihin kulunut aika}} \quad (1)$$

$$\text{Taajuuden yksikkö on } [f] = \frac{1}{T} = \frac{1}{s} = \text{Hz (hertsi)}$$

Yksinkertaisin värähdyksen heilahdusliike on sinimuotoinen ja sitä kutsutaan harmoniseksi värähtelyksi (kuva 1). Harmoninen värähtely sisältää vain yhden taajuuskomponentin. / 7, s.4. /

Värähtelyn suurinta poikkeamaa tasapainoasemasta sanotaan amplitudiksi / 12, s. 204 /. Amplitudi ilmaisee värähtelyliikkeen laajuutta sekä värähtelyliikkeen maksimipoikkeamaa tasapainoasemasta. Amplitudi on puolet värähtelyn vaihteluvälistä. / 1, liite A1. /



Kuva 1. Harmoninen värähtely paikan suhteen / 7, s.4 /.

Värähtelyliikkeen etenemisnopeus eli värähtelyn leviämisenopeus (c) saadaan kaavasta 2.

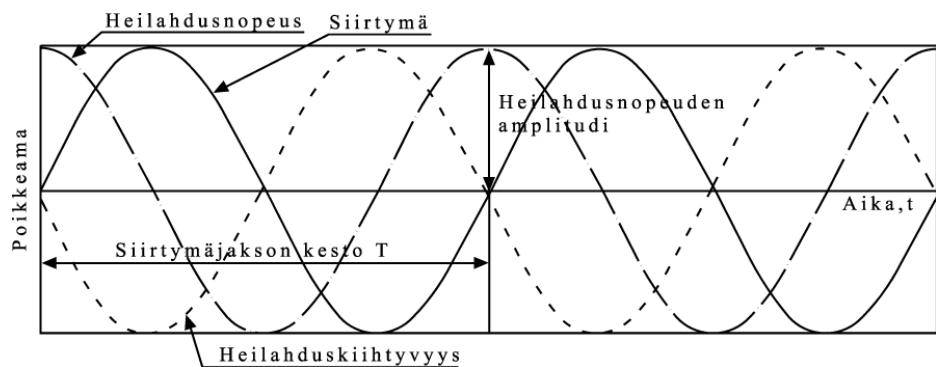
$$c = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad (2)$$

λ = aallonpituus

T = värähdysaika eli jaksonaika

f = taajuus eli frekvenssi / 12, s.4 /.

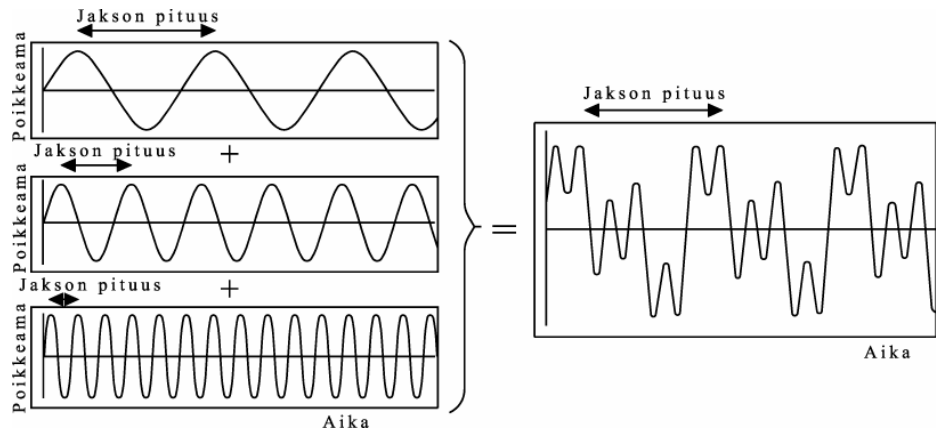
Värähtelyliike esitetään usein myös heilahdusnopeutena v ja heilahduskihtyvyytenä a (kuva 2). Heilahdusnopeus on siirtymän derivaatta ajan suhteen ja heilahduskihtyvyys on heilahdusnopeuden derivaatta. / 7, s.4. /



Kuva 2. Harmonisen värähtelyn siirtymä, heilahdusnopeus ja heilahduskihtyvyys ajan suhteen. Kuvaajat ovat samanmuotoisia, mutta eri vaiheissa. / 7, s.5. /

Käytännössä värähtely sisältää useita eritaajuisia harmonisia taajuuskomponentteja. Silloin sitä kutsutaan jaksolliseksi värähtelyksi. Tämä

on esitettävissä harmonisten värähtelykomponenttien summana (kuva 3). / 7, s. 5. /

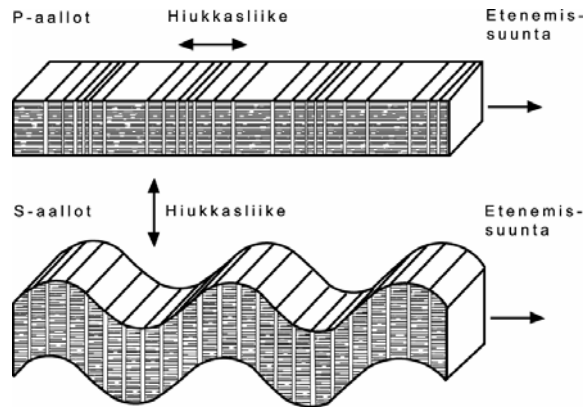


Kuva 3. Jaksollisen värähtelyn muodostuminen eri taajuisista komponenteista / 7, s.5 /.

Koska jaksollisessa värähtelyssä erillisten jaksojen suurimmat huiput vaihtelevat, määritetään mitatun signaalin huippuarvo käymällä koko signaali läpi ja poimimalla siitä suurin poikkeama (amplitudi) / 7, s.6 /.

2.4.2 Aaltotyypit

Maaperässä etenevää värähtelyä voidaan kuvata kahdentyyppisenä aaltoliikkeenä (kuva 4) runkoaaltoina ja pinta-aaltoina. Värähtely voi edetä puristusaaltona (P-aalto), joka aiheuttaa muodonmuutoksia aaltorintaman etenemissuunnassa. P-aalto aiheutuu puristusjännityksistä ja sitä voidaan kutsua runkoaalloksi. Toinen aallon etenemistyyppi on leikkausaalto (S-aalto), joka on myös runkoaalto. S-aalto aiheuttaa muodonmuutoksia aaltorintamaan kohtisuorassa suunnassa. S-aalto aiheutuu leikkausjännityksistä. Pinta-aalloista tunnetuin ja tärkein on Rayleigh-aalto (R-aalto). R-aallot johtuvat maaperän kerroksellisuudesta ja epäelastisuudesta. R-aalto leviää maan pintakerroksessa sylinteriaaltona pistemäisestä maanpinnalta olevasta lähteestä. Viivamaisesta tärinälähteestä R-aalto leviää suorana rintamana. / 6, s.156. /



Kuva 4. Runkoaallot eli P- ja S-aallot elastisena aaltoliikkeenä / 14, s.159 /.

Maanpinnalla olevan värinälähteen aiheuttamasta aaltoenergiasta pinta-aaltoina leviää noin 67 %, leikkausaaltoina noin 25 % ja puristusaaltoina noin 7 %. Maan pintakerroksen värinää hallitseva aaltotyyppi on pinta-aalto. / 6, s.156. / Puristusaallolla on suurin etenemisnopeus, noin 200 - 800 m/s. Pinta- ja leikkausaaltojen nopeudet ovat välillä 60 - 400 m/s. Pinta-aaltojen energia vaimenee hitaammin esim. runkokaaltoon verrattuna. Pinta-aaltojen syvyysvaikutus on suoraan verrannollinen aallonpituuteen. Näin ollen matalataajuisin värinä ulottuu syvimälle ja vaimenee hitaimmin. / 6, s.157. /

2.5 Maapohjan vaikutus värinään

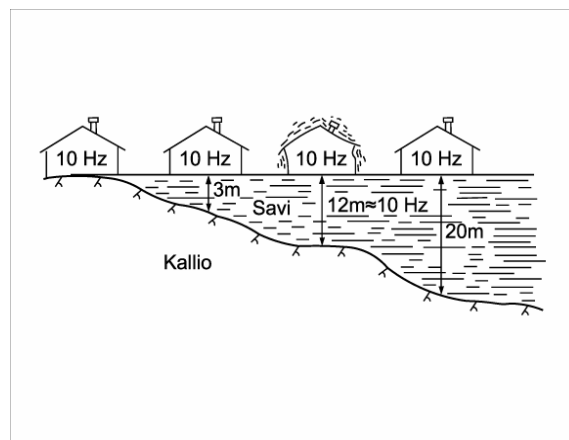
Värinän lähde eli heräte aiheuttaa maaperän värähtelyä, joka sisältää useita taajuuskomponentteja. Ympäristöön leviävän värähtelyn taajuussisältö riippuu merkittävästi maaperän laadusta. / 1, s. 37. / Värinän suuruuteen vaikuttavat merkittävästi maaperän laadun lisäksi maan tiiveys ja lujuus, maan kerroksellisuus ja paksuus, maalajin jäykkyys eli kimmo- ja leikkausmoduuli sekä vesipitoisuus ja kunkin maakerroksen ominainen materiaalivaimennus. / 6, s.156. /

Karkearakeisilla maalajeilla maan jäykkyys kasvaa maan tiiveyden kasvaessa. Vesipitoisuus on yleensä suhteellisen pieni. Karkearakeisilla maalajeilla myös jäykkyys ja sisäinen vaimennus on usein hienorakeisia maalajeja suurempi. Sisäisellä vaimennuksella tarkoitetaan värähtelyssä maahan sitoutunutta energiaa, joka muuttuu maassa lämmöksi. / 13, liite A4. / Karkearakeiset maalajit eivät yleensä ole ongelmallisia värinän kannalta ellei maa ole löyhää ja vedellä kyllästynyttä. Silloin värähtelyn amplitudi voi olla huomattavan suuri. / 7, s. 13. /

Hienorakeisilla maalajeilla maalajia kuvataan tiiveyden sijasta suljetun leikkauslujuuden avulla. Liitteessä 1 on eri maapohjatyypin ominaisuuksia, muun muassa suljetun leikkauslujuuden arvoja eri maalajeilla. Mitä suurempi on suljettu leikkauslujuus, sitä suurempi on maan jäykkyys. / 13, liite A4. / Tärinän kannalta ongelmallisimpia alueita ovat juuri pohjasuhteiltaan pehmeistä ja vesipitoisista maalajeista muodostuneet alueet / 7, s. 13 /. Kauimmaksi tärinän vaikutusalue ulottuu hyvin pehmeissä tai pehmeissä kivennäismaalajeissa, kuten savessa ja siltissä. Vaikutusalue on myös laaja pehmeissä ja paljon vettä sisältävissä eloperäisissä maalajeissa, joita ovat turve ja lieju. / 1, s.14. /

Maapohjan ollessa pehmeä, värähtelyn hallitseva taajuus on yleensä alhaisempi kuin kovilla maapohjilla / 7, s.13 /. Esim. pehmeillä savimailla taajuus on välillä 5 - 15 Hz ja kovilla moreenimailla taajuus on 10 - 25 Hz / 1, s. 37 /. Tämä johtuu siitä, että pehmeä maaperä muuttaa tärinäherätteen alkuperäistä taajuutta oman ominaistaajuutensa mukaiseksi, samalla kun tärinä etenee maaperässä. Pehmeä maapohja suodattaa pois ominaistaajuuttaan korkeammat ja matalammat taajuudet. / 7, s.13. /

Maapohjassa etenevä tärinäimpulssi kohtaa edetessään erilaisten maakerrosten muodostamia rajapintoja. Tärinä taittuu ja heijastuu näissä rajapinnoissa, jolloin tärinän vaikutus voi summautua ja voimistua paikallisesti. Erityisesti näin tapahtuu, jos tiiviiden maakerrosten tai kallion pinta on viettävä pehmeän maakerroksen alla (kuva 5). / 7, s. 14. /



Kuva 5. Taitto ja heijastuminen voivat aiheuttaa odottamattoman suuria tärinäarvoja / 14, s. 161 /.

2.5.1 Pehmeiden maalajien esiintyminen Suomessa

Pehmeitä maalajeja esiintyy Suomessa lähinnä eteläisen ja keskisen Suomen rannikkovyöhykkeellä. Etelä-Suomessa muinasiin meriin sedimentoituneita savia ja silttejä on pääosin vain eteläisen Salpausselän eteläpuolella. Pohjanmaalla niitä esiintyy pääasiassa maankohoamisalueilla noin 200 km:n etäisyydellä nykyisestä rantaviivasta. Pohjanmaalla savi- ja silttikerrokset vaihtelevat moreeni- ja turvekerrostumien kanssa. Lounais-Suomessa savikerrostumat ovat tyypillisesti kallioesiintymien välisissä painanteissa. Myös jokikerrostumien alueella ja harjumuodostumien reuna-alueilla voi silttikerroksen lomassa esiintyä savikerroksia. Lounais-Suomessa voi esiintyä jopa 50 – 70 m:n paksuisia savikerrostumia. Kun edetään rannikolta sisämaahan päin, savikerrosten paksuudet yleensä ohenevat. Paikoitellen sisämaassa voi kuitenkin esiintyä paksuja pehmeikköjä. Sisämaassa silttiesiintymiä on yleensä ohuina kerroksina harju- ja reunamuodostelmien reuna-alueilla. / 13, liite A1. / Liitteessä 2 on kartta Suomen yleistetystä maaperägeologisesta rakenteesta.

2.5.2 Leikkausaallon etenemisnopeus

Kullakin maa- sekä kalliolajilla leikkausaallon etenemisnopeus on erilainen (taulukko 1). Leikkausaallon etenemisnopeus vaikuttaa maan ominaistajuuteen ja näin ollen myös tärinän suuruuteen ja vaimenemisen nopeuteen. / 7, s.14. / Ympäristöön leviävä tärinä etenee yleensä kyseisen maakerroksen ominaistajuudella. Ratapenkereessä ja sen läheisyydessä esiintyy muitakin taajuuksia, jotka yleensä vaimenevat nopeasti. Kerroksellisessa maassa tärinää saattaa välittyä eri kerroksia pitkin, jolloin ilmenee myös eri taajuuksia. / 7, s.47. /

Taulukko 1. Leikkausaallon etenemisnopeuksia erilaisissa maalajeissa ja kalliossa / 7, s.14 /.

Maalaji	Leikkausaallon etenemisnopeus c_s , m/s
Savi, siltti	50...250
Kuiva hiekka, sora	50...150
Vedellä kyllästynyt hiekka ja sora	100...350
Moreeni	100...800
Rikkinainen kallio, hiekkakivikallio	800...1700
Graniitti, gneissikallio	2000...2700

Maaperän alin ominaistajuus pystysuuntaiselle värähtelylle on laskettavissa kaavalla 3.

$$f_0 = \frac{c_s}{(4...5)H} \quad (3)$$

c_s = leikkausaallon etenemisnopeus

H = maakerroksen paksuus / 7, s.13. /

Mitä pidemmän matkan värähtely kulkee maakerroksessa, jonka paksuus ja leikkausaallon etenemisnopeus eivät muutu, sitä suurempi osa värähtelystä esiintyy kyseisen maakerroksen ominaistajuuden alueella / 7, s.13 /.

2.6 Maaperän värähtelyn siirtyminen rakennuksiin

Rakennuksen värähtelyihin ja koettavan värähtelyn suuruuteen vaikuttavat rakennuksen ominaisuudet kuten rakennuksen kantava runko ja rakennustapa, lattioiden jännemitat ja rakenteet, kerrosten määrä sekä

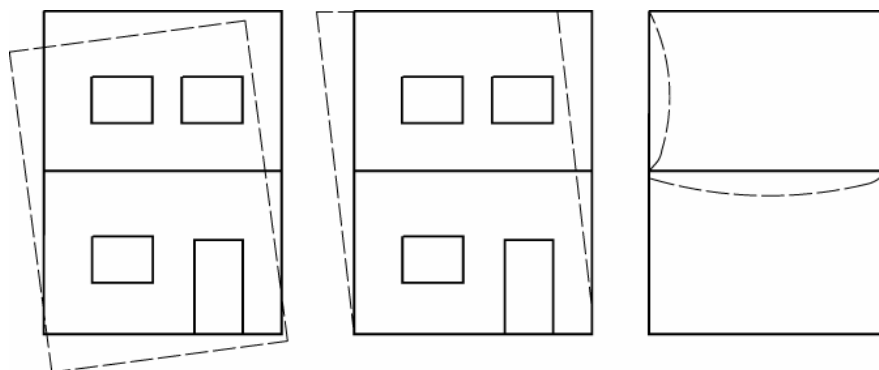
perustamistapa. Myös se, miten rakennus on vuorovaikutuksessa maan kanssa, vaikuttaa tärinän suuruuteen. Rakennusten värähtelyn suuruus sekä värähtelyn taajuus poikkeavat usein värähtelyistä, jotka mitataan maaperästä. / 1, s.35. /

Tärinän pysty- ja vaakavärähtelyjen siirtyminen rakennukseen riippuu muun muassa

- Rakennuksen perustamistavasta
- Maaperän värähtelyn taajuudesta
- Pinta-aallon (R-aallon) pituudesta
- Rakennuksen mitoista / 1, s.35 /.

2.6.1 Rakennuksen värähtelymuodot

Rakennuksen runko voi värähdellä kokonaisuudessaan tai värähtely voi olla rakennuksessa paikallista. Paikallista värähtelyä on seinien leikkausmuodonmuutos sekä rakennusten eri osien taivutusmuodonmuutokset (kuva 6). / 1, s. 18. / Rungon vaakasuuntainen värähtely on merkittävin, koska se saa koko rakennuksen värähtelemään. Erityisesti se on haitallista 2 - 3 -kerroksisissa rakennuksissa. Tätä korkeammissa rakennuksissa rungon värähtely ei ole yleensä merkittävää, koska niissä ominaistaajuus on yleensä pienempi kuin maaperän ominaistaajuus. / 1, s. 38. /



Kuva 6. Esimerkkejä rakennuksen eri värähtelymuodoista / 1, s.19 /.

Värähtelyä esiintyy kolmessa pääsuunnassa: pystysuunnassa (z-suunta) ja kahdessa vaakasuunnassa (x- ja y-suunnat) / 1, s.18 /.

Asuintiloissa merkittävin värähtely, joka vaikuttaa ihmisten viihtyvyyteen, on rakennuksen rungon vaakasuuntainen värähtely ja lattian pystysuuntainen värähtely, koska ihminen tuntee nämä värähtelymuodot suoraan kehossaan / 1, s.35 /.

2.6.2 Lattiavärähtely

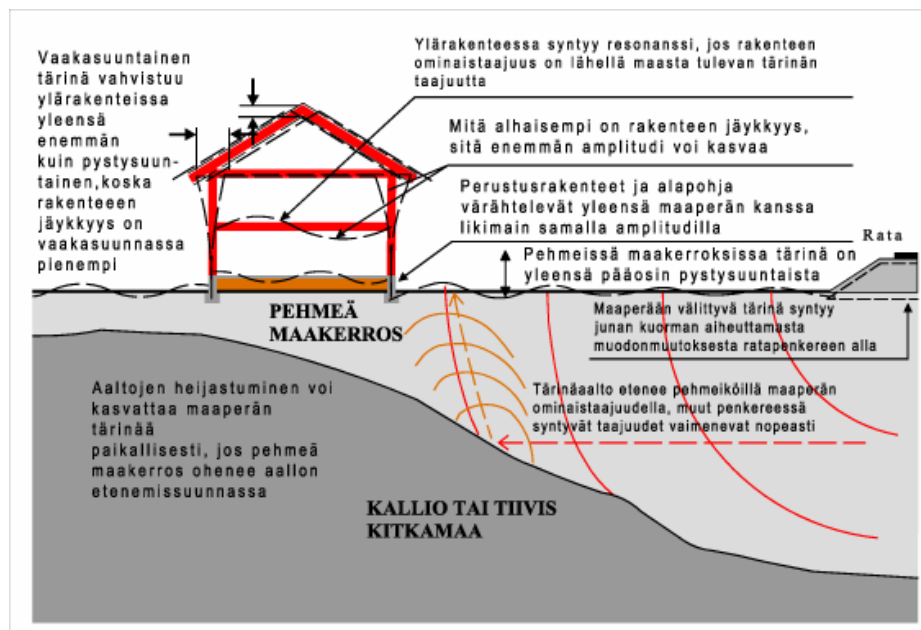
Koska rakennuksessa olevat pystyrakenteet siirtävät perustuksen pystyvärähtelyt myös ylempiin kerroksiin, on lattioiden värähtely myös korkeiden talojen ongelma. Lattialla on useita värähtelymuotoja. Niiden ilmeneminen riippuu tärinälähteen taajuudesta. Mitä suurempi on lattian pituus- ja poikittaissuuntaisen jäykkyyden ero, sitä enemmän esiintyy erilaisia lattian värähtelymuotoja. Alinta ominaistajuutta vastaava värähtelymuotoa pidetään haitallisimpana, kun kyse on liikenteen aiheuttamasta tärinästä. / 1, s. 41. /

Lattian jänneväli vaikuttaa olennaisesti lattian ominaistajuuteen. Ominaistajuudet ovat sitä suuremmat, mitä lyhyempi on lattian jänneväli. Myös lattian materiaali vaikuttaa lattian ominaistajuuteen. Esimerkiksi kevyiden puu- tai teräsrunkoisten lattioiden ominaistajuus on 8 - 30 Hz. Kun taas esimerkiksi raskaammilla ontelolaatoilla ominaistajuus on alempi, 6 - 20 Hz. / 1, s. 41. /

2.6.3 Resonanssi

Kun maaperän taajuus on lähellä rakennuksen ominaistajuutta, syntyy resonanssi. Tällöin rakenne voimistaa koko rakennuksen ja sen eri osien värähtelyä merkittävästi. Jos rakenteeseen kohdistuvan värähtelyn taajuus on huomattavasti pienempi kuin resonanssitaajuus, värähtelyt siirtyvät samansuuruisina rakenteeseen. Jos rakenteeseen kohdistuva taajuus on huomattavasti resonanssitaajuutta suurempi, värähtelyt vaimenevat. / 1, s.36. /

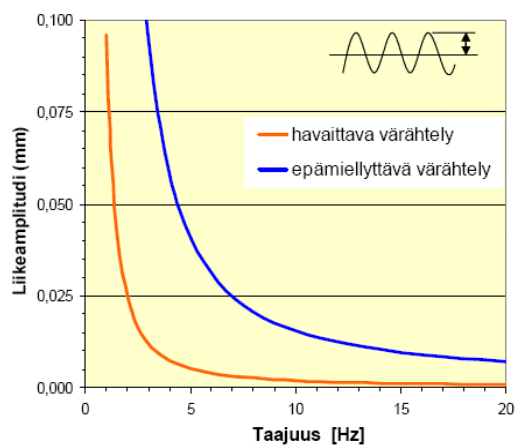
Kun värähtely siirtyy maaperästä rakennukseen, maaperästä tulevan värähtelyn kukin taajuuskomponentti käyttäytyy eri tavoin. Maaperän värähtely sisältää eri taajuuksista värähtelyjä. Jos maaperän värähtely on kapeakaistaista, resonanssin merkitys on suuri. Eriyisen merkittävä on välillä 0,75 - 1,25 kertaa resonanssitaajuus oleva taajuusalue. Värähtelyn arvo voi voimistua 5 - 12 kertaiseksi. Tai toisaalta arvo voi vaimeta murtoosaan. / 1, s.36. /



Kuva 7. Tärinäaallon eteneminen ja vahvistuminen pehmeässä maakerroksessa. Tärinän välittyminen rakennukseen ja vahvistuminen sekä resonanssin syntyminen. / 7, s.15. /

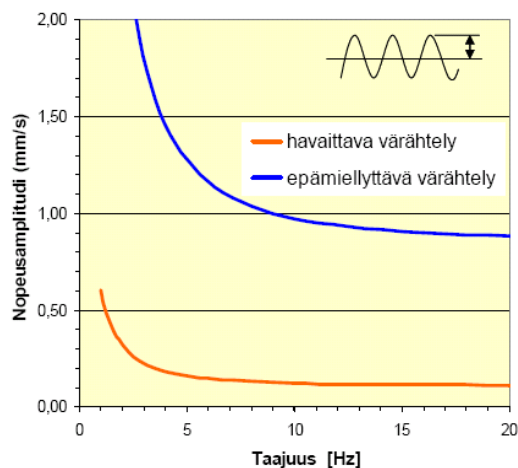
2.6.4 Ihmisen herkkyyys liikennetärinöille

Ihminen aistii värähtelyt, jotka ovat hyvin pieniä. Herkkyyys värähtelylle riippuu värähtelyn suuruudesta sekä myös sen taajuudesta. Jo alle 0,01 mm:n liikeamplitudi on havaittavissa, kun värinän suuruutta kuvataan siirtymän avulla. Pienillä taajuuksilla olevan värähtelyn, jonka liikeamplitudi on alle 0,1 mm, ihminen kokee usein häiritseväksi (kuva 8). Merkittävin taajuusalue, jonka ihminen kokee, on yleensä pehmeillä savimailla välillä 5 - 15 Hz ja kovilla sora- ja kiviainemilla välillä 10 - 25 Hz. / 1, s.13. /



Kuva 8. Ihmisen herkkyyys värähtelylle, kun värähtely esitetään liikkeen avulla. / 1, s.13. /

Usein värähtelyiden suuruus esitetään siirtymän sijasta värähtelynopeudella. Yli 10 Hz:n taajuusalueella useimmat ihmiset kokevat yli 1 mm / s olevat värähtelyt epämiellyttäväksi (kuva 9). / 1, s.13. /



Kuva 9. Ihmisen herkkyys värähtelylle, kun värähtely esitetään värähtelynopeuden avulla / 1, s.13. /

3 RAIDELIIKENNETÄRINÄ

3.1 Yleistä

VTT:n arvion mukaan raideliikennetärinälle altistuu noin 150 000 - 200 000 asukasta / 9, liite 4 /. Tärinän kannalta ongelmallisimpia rataosuuksia ovat Turku - Toijala -, Oulu - Vartius - sekä Riihimäki - Vainikkala -radat. Lisäksi tärinän kannalta vaikeita rataosuuksia ovat myös Kerava - Sköldvik -, Kokkola - Oulu - sekä Raahe - Oulu -radat. / 23. / On todettu, että radan varrella asuvia häiritsevät yli 3000 tonnin painoiset tavarajunat / 11, s 1 /. Junien nopeusrajoitus on vanhoilla ratalinjoilla osoittautunut ainoaksi keinoksi tärinän vähentämiseksi. Vilkkaasti liikennöidyillä rataosuuksilla tätä keinoa ei liikennellisistä syistä voida kuitenkaan käyttää. / 10, s.11. /

3.2 Raideliikennetärinän syntyminen

3.2.1 Juna herätelähtenä

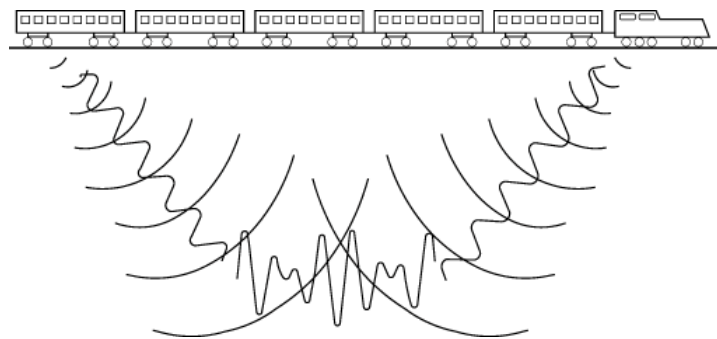
Tärinä aiheutuu junan pyörän ja raiteen välillä olevista voimista. Kun junan pyörä ylittää esimerkiksi vaihteen, kiskonjatkoksen tai kiskon viallisen kohdan, pyöräkuorman syntyy paikallinen sysäys. Raiteen epätasaisuuksien ja vikojen aiheuttamat sysäykset voivat kasvattaa pyöräkuormaa jopa kolminkertaiseksi. / 6. s.154./

Juna muodostaa pitkän nauhamaisen herätelähteen, jossa junan kaikki akselit muodostavat erillisiä, yksittäisiä herätelähteitä / 7, s. 10 /. Yksittäinen akseli aiheuttaa rataan kohdistuvan jännityksen. Koska junien akselikuormat liikkuvat toisiaan seuraten, syntyy ilmiö, jota kutsutaan ohitustaajuudeksi. Sekä henkilöjunien että hitaiden tavarajunien akselit aiheuttavat matalia ohitustaajuuksia. Kun henkilöjuna kulkee nopeutta välillä 100 - 140 km / h, sen ohitustaajuus on 1,5 - 5,3 Hz. Tavarajunien akselit aiheuttavat 1,1 - 5,2 Hz:n ohitustaajuuden nopeuksilla 60 - 80 km / h. Pehmeän maaperän ominaistaajuus sijoittuu näille taajuuksille. Tärinän kannalta tilanne on vielä hankalampi, jos alueelle olevien rakennusten ominaistaajuus on samalla taajuudella. / 6. s.155. /

Ratarakenteen ulkopuoliseen tärinään ja sen voimakkuuteen vaikuttavat junan kokonaispaino sekä tavarajunissa lastin paino ja miten tasaisesti kuorma on lastattu. Myös junan pituus sekä nopeus vaikuttavat tärinän suuruuteen sekä tärinän kokemisen keston. Tärinän suuruuteen vaikuttaa myös se, jos junan etenemisnopeus on likimain yhtä suuri maanpohjassa etenevän tärinäaallon kanssa. / 7, s. 10. /

3.2.2 Interferenssi

Pitkä juna voi aiheuttaa interferenssi-ilmiön. Tämä tarkoittaa sitä, että saman junan alkupään ja loppupään aiheuttamien tärinöiden taajuuksien välille syntyy vaihe-ero. Tällöin tietyllä etäisyydellä radasta tärinäaalto-rintamat voivat summutua (kuva 10). / 7, s.11. /



Kuva 10. Junan aiheuttama aaltojen yhteisvaikutus, interferenssi / 7, s.11. /

3.2.3 Radan vaikutus

Junan akselikuormat saavat aikaan rataan hetkellisen painuman. Voidaan puhua painumasuppilosta, jonka syvyys ja laajuus riippuvat lähes

yksinomaan radan jäykkyydestä. / 7, s.11. / Mitä suurempi painuma on, sitä suurempi on radasta ympäristöön leviävä tärinä. Radan jäykkyyteen vaikuttavat merkittävästi kiskojen, ratapölkkyjen, tukikerroksen, penkereen sekä pohjamaan jäykkyydet. Radan jäykkyys vaikuttaa tärinän amplitudin lisäksi myös ympäristöön leviävän tärinän taajuuteen. Jäykästä radasta leviävän tärinän taajuus on korkeampi kuin joustavasta radasta. / 7, s.12. /

Radassa olevat epätasaiset kohdat sekä kiskossa olevat epäjatkuvuuskohdat ovat merkittäviä tärinän lähteitä. Kiskoon kohdistuu junan pyöristä näissä kohdissa suuruudeltaan muuttuvia kuormia tai merkittäviä vaakakuormia. / 7, s.12. /

Kiskoon kohdistuvat pysty- ja vaakasuuntaiset voimat vaikuttavat radan päällysrakenteen tärinän voimakkuuteen. Nämä voimat vaihtelevat riippuen junan ominaisuuksista, joita ovat akselipaino, akselien jousitus sekä pyörien kunto. Myös kiskojen kunto, suoruuus, voimakas kuluneisuus sekä avoimet kiskoatkokset vaikuttavat tärinän suuruuteen. / 7, s. 10. /

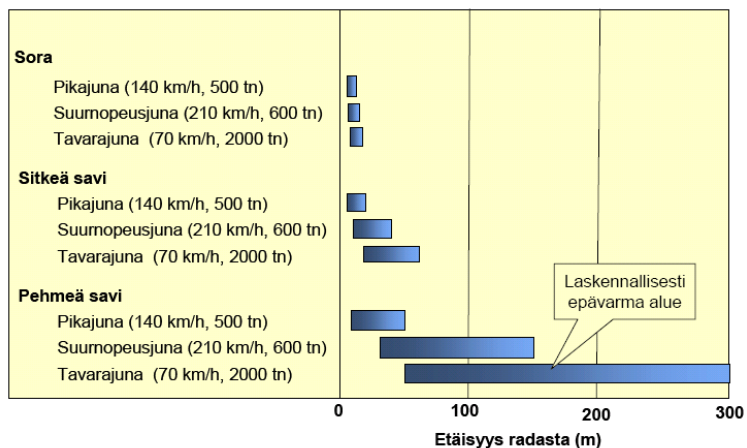
3.2.4 Kaluston vaikutus

Veturivetoisen henkilöjunan tärinän suurin amplitudi aiheutuu veturista, koska se on raskaampi kuin yksittäinen vaunu. Tavarajunissa veturin heräte ei ole yleensä määräävä, vaan tärinän suuruus johtuu siitä, että tavarajuna on painavampi kuin henkilöjuna. Tavarajunan vauhti on hitaampi kuin henkilöjuna. Tavarajuna on myös pidempi ja näin ollen ohitukseen kuluu huomattavan paljon enemmän aikaa. Tällöin tärinäaaltojen interferenssin vaikutus kasvaa. / 7, s.12. /

Tärinän suuruuteen vaikuttaa junakaluston kunto. Jos kalustossa on huonokuntoinen jousitus tai pyörät ovat kuluneet, tärinän herätevoima voi kasvaa huomattavasti. / 7, s.12. / Erityisesti venäläisen kaluston lovipyörät aiheuttavat huomattavan suurta tärinähaittaa. Venäläiseltä kalustolta ei tällä hetkellä voimassa olevan rajasopimuksen mukaan vaadita yhtä hyvää kuntoa kuin suomalaiselta kalustolta. Venäläiselle kalustolle sallitaan 1 mm:n lovipyöräisyys. Suomalaisen kaluston vastaava sallittu arvo on 0,5 mm. / 18 s, 15. / Myös junan akseliväli saattaa vaikuttaa siihen, että tietyllä kalustolla ja ajonopeudella akselista lähtenyt heräte on maaperän ominaistajuudella, jolloin tärinän vaikutus kasvaa / 7, s.12. /

3.2.5 Raideliikennetärinän vaikutusalue eri maalajeilla

Rautatieliikenteen ongelmana tärinän kannalta ovat yleensä yhdistelmä pehmeät savimaat ja tavarajuna. Kuvasta 11 nähdään, miten maanlaatu sekä junan paino ja nopeus vaikuttavat siihen kuinka laajalle tärinä etenee. Esimerkiksi pehmeällä savimaalla, kun tavarajunan paino on 2000 tonnia ja sen nopeus 70 km/h, vasta yli 300 m:n etäisyydellä voidaan olla varmoja, ettei tärinä ole haitallinen. / 1, s. 15. /



Kuva 11. Arvio etäisyydestä eri maalajeilla, jolloin junista aiheutuva tärinä voi olla haitallinen. Varjostetut alueet ovat laskennallisesti epävarmaa aluetta. / 1. s. 15. /

3.3 Raideliikennetärinän leviämisen laskentamalli

Suomessa käytössä oleva laskentamalli perustuu pääpiirteittäin Norjassa kehitettyyn ennustemalliin ns. Madshusin malliin. Alkuperäinen malli on puhtaasti empiirinen malli eli se pohjautuu laajoihin tärinämittauksiin ja -tutkimuksiin. Tässä esitetty laskentamalli on kehitetty paremmin suomalaiselle junaliikenteelle sovellettavaksi. Mallissa otetaan huomioon myös junan paino. Mallilla voidaan laskea junan aiheuttaman tärinän heilahdusnopeus v_B (mm/s). Kaava ottaa huomioon junatyyppin, junan nopeuden, junan painon, radan kunnon, pohjasuhteet sekä rakennuksen tyyppin. Mallia voidaan käyttää yhdessä mittaustulosten kanssa, jolloin tulokset ovat luotettavampia. / 7, s. 16. /

3.3.1 Perusyhtälö

Pystysuora heilahdusnopeus voidaan laskea perusyhtälöstä 4.

$$v_B = v_0 \times k_D \times k_S \times k_G \times k_R \times k_B \times A \quad (4)$$

v_B = laskennallinen tärinän pystyheilahdusnopeus rakennuksessa, halutussa tarkastelupisteessä (mm/s)

v_0 = pystysuora vertailuheilahdusnopeus maassa etäisyydellä ($D_0=15$ m)

k_D = etäisyyskerroin

k_S = junan nopeudesta riippuva kerroin

k_G = junan painosta riippuva kerroin

k_R = radan kunnosta riippuva kerroin

k_B = tärinän vahvistumiskerroin rakennuksessa

A = arviointiriskikerroin, jota käytetään aluerajausten tekemisessä

$A=1$, kun rajausten tekemisessä käytetään hyväksi tärinän mittauksia

$A=2$, mikäli mittauksia ei ole tehty / 7, s. 16 /.

3.3.2 Vertailuheilahdusnopeus

Norjassa kehitetyssä mallissa eri junatyypeille ja eri pohjamaatyypeille on annettu kokemusperäiset vertailuheilahdusnopeudet v_0 (mm/s). Arvot on mitattu 15 m:n etäisyydellä raiteen keskeltä ja ne on annettu taajuuspainotettuina tehollisarvoina pehmeälle savelle. Taulukon 2 nopeudet ovat arvoja, jotka on tarkistettu Suomen mittausten mukaisiksi. / 7, s.17. /

Taulukko 2. Pystysuorat vertailuheilahdusnopeudet etäisyydellä $D_0 = 15$ m raiteen keskeltä (huippuarvoina) / 7, s.17 /.

Junatyyppi	Vertailuheilahdusnopeus, v_0 (mm/s)				
	pehmeä lieju tai savi	sitkeä savi ja savinen siltti	löyhä siltti tai hieno hiekka	tiivit karkearakeiset maat	kallio
Henkilöjuna	0,7...1,2	0,5...0,9	0,3...0,6	0,2...0,4	<0,2
Tavarajuna	1,1...1,7	0,7...1,2	0,4...0,9	0,3...0,6	<0,3

3.3.3 Etäisyyskerroin

Mittauspisteen etäisyys radasta otetaan huomioon etäisyyskerroimen avulla, joka lasketaan kaavalla 5.

$$k_D = \left(\frac{D_0}{D} \right)^B \quad (5)$$

D_0 = vertailuetäisyys, jolla vertailuheilahdusnopeus on annettu ($D_0=15m$)

D = tarkastelupisteen etäisyys raiteen keskeltä

B = etäisyyseksponentti / 7, s.17 l.

Etäisyyskerroin kuvaa tärinän vaimenemisen nopeutta etäisyyden suhteen. Mitä suurempi eksponentti on, sitä nopeammin tärinä vaimenee. Maapohjan laatu ja junatyyppi vaikuttavat eksponentin suuruuteen. Eksponentti voidaan määrittää kohdekohtaisesti tekemällä tärinämittauksia eri etäisyyksillä. Jos mittauksia ei ole, käytetään taulukkoa 3.

Taulukko 3. Tärinän laskentamallin etäisyyseksponentti / 7, s.18 l.

Junatyyppi	Etäisyyseksponentti, B				
	pehmeä lieju tai savi	sitkeä savi ja savinen siltti	löyhä siltti tai hieno hiekka	tiivit karkearakeiset maat	kallio
Henkilöjuna	0,3...0,8	0,6...1,1	1,0...1,6	1,5...2,0	< 2,0
Tavarajuna	0,3...0,6	0,5...1,0	0,9...1,5	1,4...2,0	< 2,0

3.3.4 Nopeuskerroin

Junan nopeus otetaan laskentamallissa huomioon kertoimella, joka lasketaan kaavalla 6.

$$k_s = \left(\frac{S}{S_0} \right)^A \quad (6)$$

S = tarkasteltavan junan nopeus (jos $S < 70$ km/h, käytetään $S = 70$ km/h)

S_0 = vertailunopeus 70 km/h

A = nopeuseksponentti, ohjearvo 0,9...1,1 / 7, s.18 /.

Nopeuseksponentin arvolla $A = 1,0$, junanopeuden ja heilahdusnopeuden yhteys on lineaarinen. Matalilla nopeuksilla heilahdusnopeus on junan nopeudesta riippumaton. Nopeuskerrointa käytetään vain 70 km/h nopeuksilla, alemmilla nopeuksilla k_s arvo on 1. / 7, s.18. /

3.3.5 Junan painokerroin

Laskentamallissa junan paino otetaan huomioon painokertoimella k_G , joka lasketaan kaavalla 7.

$$k_G = \frac{G}{G_0} \quad (7)$$

G = tarkasteltavan junan kokonaispaino, tn

G_0 = vertailupaino, 2000 tn / 7, s.19 /.

3.3.6 Radan kunnosta riippuva kerroin

Radan kunto, esim. kiskojen tasaisuus, vaikuttaa siihen, miten suuri on ympäristöön leviävä tärinä / 7, s. 19 /.

Mikäli kohdekohtaisia tärinämittauksia ei ole tehty, voidaan radan kunnosta riippuva kerroin arvioida seuraavien arvojen väliltä / 7, s. 19 /.

- Vanha yksiraiteinen rata $k_R = 1,3$
- Uusi moniraiteinen rata $k_R = 0,7$

Nämä arvot eivät ole ääriarvoja. Huonokuntoisella vanhalla radalla kertoimen voi määrittää suuremmaksi. Uuden radan kerroin voi vastaavasti olla pienempi. / 7, s. 19. /

3.3.7 Tärinän vahvistumiskerroin rakennuksissa

Perustukset ja maanvarainen laatta heilahtavat tärinän vaikutuksesta likimain samalla tavalla kuin niiden alla oleva maakerros. Kun taas rakennuksen ylimmissä rakenteissa, joiden jäykkyys on pienempi, tärinän heilahdusnopeus pyrkii kasvamaan. / 7, s. 19. /

Heilahdusnopeuden vahvistuskertoimen k_B ottaa huomioon rakennuksen värähtelyominaisuudet. Heilahdusnopeuden vahvistumiskertoimen suuruutta voidaan arvioida taulukon 4 perusteella. / 7, s. 20. /

Taulukko 4. Tärinän kokemusperäinen vahvistuskertoimen maanvaraisissa rakennuksissa / 7, s. 20 /.

Rakennustyyppi	Vahvistuskertoimen, k_B	
	keskiarvo	keskihajonta
Yksikerroksinen rakennus	1,3	1
Kaksikerroksinen rakennus	1,9	1,2

3.3.8 Laskentamallin käyttö yhdessä mittausten kanssa

Yhdessä tärinämittausten ja laskentamallin avulla merkittävä osa mallin epävarmuustekijöistä saadaan poistettua. Termit v_0 , k_R ja k_B voidaan mittausten avulla määritellä tarkemmin. Myös etäisyyskseenponentti B saadaan määriteltä luotettavammin, jolloin etäisyyden vaikutus voidaan ottaa laskennallisesti tarkemmin huomioon. Vertailuetäisyys D_0 , vertailunopeus S_0 ja vertailupaino G_0 otetaan kaavaan tehtyjen mittausten mukaisesti. / 7, s.20. /

Tärinämittausten avulla laskentamallista tulee yleisen mallin sijasta työkalu, jolla voidaan kohdekohtaisesti yksityiskohtaisemmin tarkastella muuttuvien tekijöiden osuutta tärinän suuruuteen / 7, s.20 /.

3.4 Laskentamalliin perustuva laskentaohjelma

”Seinäjoki - Oulu -radan palvelutason parantaminen” -ympäristövaikutusten arviointiohjelmaa varten on kehitetty laskentaohjelma, jonka tuloste on liitteessä 3. Laskentaohjelma on kehitetty tärinän leviämisen arvioimiseksi. Ohjelma perustuu Norjassa kehitettyyn luvussa 3.3 esitettyyn Madshusin laskentamalliin. Mallia on tarkennettu edelleen Seinäjoki - Oulu -rataosuuden arviointia varten vertaamalla mallin antamia tuloksia mittauskohteista mitattuihin arvoihin.

3.4.1 Laskentamallien arviointi

Tämän kuten muidenkin pelkistettyjen laskentaohjelmien ja mallien puutteena on se, ettei se ota huomioon maaperän kerrostumien epähomogeenisuutta. Esimerkiksi Madshusin malli toimii parhaiten homogeenisessä maapohjassa. Maaperä käsittää yleensä erilaisia

kerrostumia ja muodostumia peruskallion yläpuolella. Lisäksi pohjaveden korkeus vaihtelee usein vuodenajan mukaan. Siksi tärinän laskennalliset arviointimenetelmät ovat vain suuntaa antavia ja tarkempien tuloksien saavuttamiseksi suositellaan laskentamallien käyttämisen tueksi aina tarkempia mittauksia. / 13, liite C6. /

3.5 Tärinän arviointi mittaamalla

Tärinämittaukset ovat luotettavin tapa arvioida tärinän siirtymistä. Tällöin lähes kaikki tärinään vaikuttavat tekijät saadaan otetuksi huomioon. / 13, s.22. / Mittausten tavoitteena on selvittää suurin asukkaan kokema tärinä / 1, s. 18 /. Mittausten avulla todennetaan myös mahdollinen rakennusten vaurioitumisriski.

Mittaukset kohdistetaan yleensä raskaampiin tavarajuniin. Tällaisiksi katsotaan junat, joiden kokonaispaino ylittää 2000 tonnia ja junat, joiden akselipaino ylittää 18 tonnia. Mittauksia tulee tehdä vähintään kuudesta junasta, jotta mittaustuloksilla olisi tilastollista merkitystä. / 7, s. 40. /

Mittauslaitteisto koostuu mittausantureista, niiden vahvistimista, tärinäsignaalin esisuodattimista sekä tallennusjärjestelmästä. Mittauksissa käytetään joko kiihtyvyyssanturia tai geofoneja. Mittauslaitteiston tulee toimia luotettavasti taajuusalueella 1 - 80 Hz. / 1, s.18. /

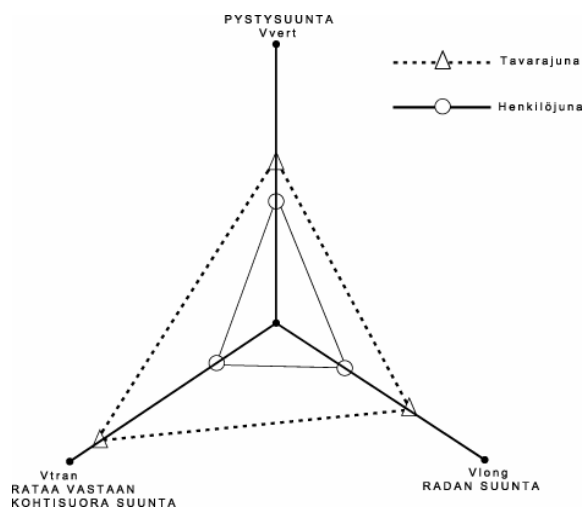
3.5.1 Tärinämittareista ja mittaustavoista

Raideliikennetärinän mittaamiseen soveltuvia tärinämittareita on useita. Yhtenä esimerkkinä tässä mainitaan tärinämittari UVS 1500 (kuva 12). Mittareiden ominaisuudet ovat keskenään aika samankaltaisia. Useimmat mittarit ovat nelikanavaisia, joista kolme kanavaa on varattu tärinän mittaukseen ja yksi kanava on kiinteästi varattu mikrofonille.



Kuva 12. UVS 1500 tärinämittari / 15 /.

Mittausta kutsutaan kolmikomponenttimittaukseksi, kun mittaustuloksena saadaan tärinän komponentit kolmessa suunnassa (kuva 13). Raideliikennetärinää mitattaessa tuloksina saadaan junien heilahdusnopeuksien eli värähtelyn huippuarvot v_{\max} (mm/s) pystysuunnassa ($v_{\max, \text{vert}}$), rataa vastaan kohtisuorassa suunnassa ($v_{\max, \text{tran}}$) sekä radan suunnassa ($v_{\max, \text{long}}$). Mittauksissa käytetään joko vertikaali- tai kolmikomponenttiantureita (3D), joiden lineaarinen taajuusalue on 1...100 Hz. Kolmikomponenttimittauksessa käytetään yhtä 3D anturia yhtä mittaria kohti. Vertikaaliantureita käytetään usein maaperämittauksissa, ja yleensä mittauksissa käytetään kolmea anturia yhtä mittaria kohti. / 18, s. 3. /



Kuva 13. Esimerkki kolmikomponenttimittauksen tuloksista graafisesti esitettynä / lähde: 18, s.10 mukailen /.

Koska mittausaineistoa tulee runsaasti, mittalaitteissa on suositeltavaa käyttää triggausta eli laukaisintoimintoa, jossa mittaus käynnistyy, kun yhdessä anturissa triggausarvo (kynnysarvo) ylittyy. Triggausarvo voi rakennuksista mitatessa olla esimerkiksi 0,5 mm/s ja lähellä rataa joko maanpinnassa tai rakennuksissa 1,0 mm/s. Triggauksen avulla mittaukset saadaan ajoitettua haluttuun hetkeen. Tällä myös vältetään turhien mittausten käynnistyminen. / 7, s.44. /

3.5.2 Mittausaineiston analysointi

Mittausten jälkeen mittausaineisto analysoidaan signaalinkäsittelyohjelmalla. Tuloksena saadaan analyysi, josta nähdään mittausjakson ajalta mittausparametrejä tietyin väliajoin. Jokaisesta mittaus-signaalista ja jokaiselta kolmelta kanavalta voidaan poimia suurin heilahdusnopeus.

Tuloksesta voidaan lukea myös suurin siirtymä, suurin kiihtyvyys, resultantin huippuarvo ja suurinta heilahdusnopeutta vastaava taajuus. Mittaustulokset voidaan tallettaa myös graafisena heilahdusnopeuskuvaajana. Liitteessä 4 on esimerkki yhden mittausjakson tulosteista.

3.5.3 *Mittaukset rakennuksissa*

Värähtelyä mitataan rakennuksen kolmessa pääsuunnassa, pystysuunnassa (z-suunta) ja kahdessa vaakasuunnassa (x- ja y-suunnat). Vaakasuunnat valitaan talon pääsuuntien mukaan. x-suunnaksi valitaan talon pituussuunta eli harjan suunta tai suuremman pituuden suunta ja y-suunnaksi valitaan talon poikittaissuunta.

Rakennuksen vaakasuuntainen värähtely tulee mitata rakennuksen yläkerroksen lattiatasolta. Mittaus tulee suorittaa sen lattian keskipisteestä, jolla kantavan rakenteen jänneväli on suurin tai jossa asukas on kokenut voimakkaimman värähtelyn. Lattiarakenteiden ollessa erilaisia, tulee mittauspisteitä olla useita. / 1, s.18. / Yksikerroksisissa ja yli viisikerroksisissa rakennuksissa pystysuuntainen värähtely on määräävä, mutta 2 - 5 -kerroksisissa rakennuksissa suurimmat värähtelyt esiintyvät yleensä vaakasuunnassa / 13, s. 25 /.

Huoneistosta mitattujen värähtelyjen lisäksi mitataan myös perustusten värähtely sekä maaperän pystysuuntainen värähtely. Perustuksista mitattuja värähtelyjä käytetään, kun arvioidaan värähtelyn merkitystä rakennuksen vaurioitumisen kannalta (taulukko 5). Perustuksen värähtelyt voidaan mitata myös rakennuksen sisäpuolelta kantavan rakenteen kohdalta, jossa rakennus liittyy perustuksiin / 1, s 19 /. Mutta suositeltavaa on, että anturit asennetaan aina perustusrakenteisiin rakennuksen ulkopuolelle / 7, s. 36 /.

3.5.4 *VTT:n suositus rakennusten vaurioitumisriskin kannalta*

VTT on laatinut suosituksen rakennusten vaurioitumisriskin määrittämiseksi (taulukko 5). Aluerajauksen perusteena on tärinän suuruus rakennusten perustusrakenteissa. Näiden rakenteiden on todettu tärisevän maaperän kanssa samalla aallonpituudella. Tärinän heilahdusnopeus voi kasvaa rakennuksen välipohjissa ja väliseinissä, mutta aluerajauksissa ei tarkastella tällaisten kohteiden tärinää. Tärinän mittaamisessa tällaisissa kohteissa esiintyy yleensä runsaasti ulkopuolisia häiriötekijöitä sekä tärinätasot eri

rakennusten ja kohteiden välillä muodostuisivat vaikeasti vertailtaviksi. / 7, s. 25. /

Kohonneen tärinäalltiuden alueeksi, V-alueeksi, rajataan sellaiset alueet, joilla tärinän heilahdusnopeuden resultantti voi rakennuksen perustuksessa ylittää 3 mm/s. Tällä alueella rakennuksen vauriot ovat mahdollisia. Vähäisen tärinäalltiuden aluetta kutsutaan H-alueeksi, jossa heilahdusnopeuden resultantti on välillä 1..3 mm/s. H-alueella rakennukseen kohdistuvat haitat ovat mahdollisia. Aluetta, jossa heilahdusnopeuden resultantti jää alle 1 mm/s, kutsutaan E-alueeksi. Tällä alueella rakennukseen kohdistuvat haitat ovat epätodennäköisiä. / 7, s. 24. /

Taulukko 5. Suositus rakennusten vaurioitumisriskin kannalta (VTT 2004) / 7, s. 25 /.

Alue	Alueen kuvaus	Heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo rakennuksen perustuksessa \hat{v}_{res} (mm/s)
V	Vauriot ovat mahdollisia Kohonneen tärinäalltiuden alue	> 3,0
H	Haitat ovat mahdollisia, vauriot epätodennäköisiä Vähäisen tärinäalltiuden alue	1,0...3,0
E	Haitat epätodennäköisiä Tärinä voidaan havaita, mutta vaurioriski on merkityksetön	< 1,0

Taulukon perusteena on heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo rakennuksen \hat{v}_{res} perustuksesta mitattuna. Resultoiva heilahdusnopeus lasketaan kaavalla 8.

$$v_{res} = \sqrt{(v_{vert})^2 + (v_{long})^2 + (v_{tran})^2} \quad (8)$$

v_{res} = resultoiva heilahdusnopeus, komponenttien vektorisumma

v_{vert} = heilahdusnopeuden pystykomponentti

v_{long} = heilahdusnopeuden radan suuntainen vaakakomponentti

v_{tran} = heilahdusnopeuden rataa vastaan kohtisuora komponentti / 7 s.42 /.

Kaavan 8 tulos on vektorisumma ja se osoittaa mittausjaksosta otetun tietyn mittausarvon resultantin tietyllä ajan hetkellä. Jos mittausjaksosta otetaan kunkin suunnan huippuarvot, on huomioitava, etteivät ne välttämättä esiinny samanaikaisesti. Huippuarvojen avulla saatu resultantti on näin ollen virheellinen. Resultantin tarkka arvo saadaan laskemalla se kolmen suunnan huippuarvoista numeerisesti signaalinkäsittelyohjelmalla. Tuloksena saadaan resultantin huippuarvo \hat{v}_{res} .

Kun mitataan vain yhtä komponenttia, resultoiva heilahdusnopeus lasketaan kaavalla 9.

$$v_{res} = 1,2 \times v_M \quad (9)$$

v_{res} = heilahdusnopeuden resultantti

v_M = heilahdusnopeuden mitattu määräävä komponentti / 7 s.43 /.

3.5.5 Mittaukset maaperässä

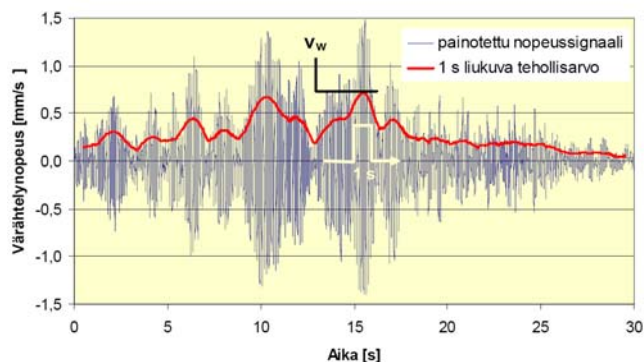
Maaperästä mitatut pystysuuntaiset värähtelyt ovat pohjana uusien asuinalueiden suunnittelulle / 13, s.22 /. Maanpinnan mittaus tehdään joko yksittäisestä pisteestä tai linjamittauksena rataa nähden poikittaisessa linjassa useammalla anturilla yhtäaikaisesti. Yksittäisen kohdan mittaaminen voi tulla kysymykseen esimerkiksi määriteltäessä tietyn tontin tärinää ennen rakentamista. Linjamittauksella yleensä selvitetään tärinän vaimenemista etäisyyden suhteen. Linjamittauksissa vähintään kolme anturia sijoitetaan samalle puolelle rataa. Mittauspisteet valitaan alueelta, jossa ei lähistöllä ole epäjatkuvuuskohtia, joita voivat olla muun muassa syvät ojat. / 7, s. 30. /

Maaperän mittauspisteen tulisi olla riittävän kaukana rakennuksesta. Näin varmistetaan, ettei rakennus vaikuta maaperän värähtelyihin. Toisaalta mittauspisteen tulisi olla riittävän lähellä rakennusta niin, että se edustaa maaperän värähtelyä rakennuksen kohdalla. / 1, s 19. /

3.6 Värähtelyn tehollisarvon määrittäminen

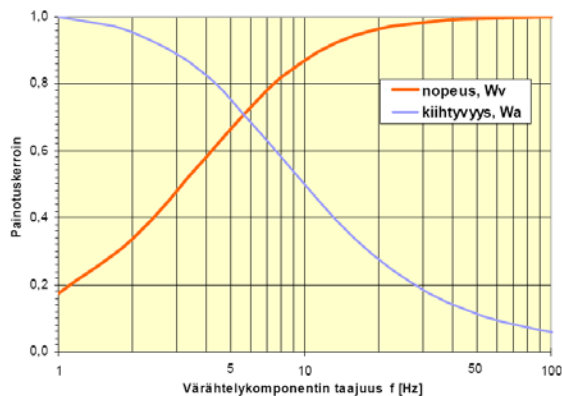
Liikenteestä aiheutuva värähtelysignaalin muoto on hyvin vaihteleva (kuva 14). Mitatusta ja taajuuspainotetusta signaalista määritetään se yhden

sekunnin mittainen ajanjakso (liukuva tehollisarvo), jolloin värähtelyn painotettu tehollisarvo v_w on suurin. / 1, s. 20. /



Kuva 14. Suurimman tehollisarvon v_w määrittäminen painotetusta nopeussignaalista 1 sekunnin liukuvan tehollisarvon avulla / 1, s. 20. /

Koska ihmisen herkkyys värähtelylle riippuu värähtelyn taajuudesta, yksittäisestä liikennevälineestä mitatun värähtelysignaalin eritaajuuksiset komponentit tehdään ihmisen herkkyyden suhteen samanarvoiseksi painotuskertoimen avulla. Riippuen siitä, onko mittaustuloksena saatu värähtelyn nopeus tai kiihtyvyys, komponentit painotetaan taajuudesta riippuvalla **painotuskertoimella W_v tai W_a** (kuva 15). Taajuuspainotuksen jälkeen värähtelysignaalista määritetään suurin tehollisarvo. / 1, s. 20. /



Kuva 15. Värähtelykomponenttien painotuskertoimen nopeus- ja kiihtyvyyssignaaleille. / 1, s.21. /

Nopeussignaalin painotuskerroin määritetään kaavalla 10 / 1, s. 21 /.

$$W_v = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}}, \text{ jossa } f_0 = 5,6 \text{ Hz} \quad (10)$$

Kiihtyvyyssignaalin painotuskerroin määritetään kaavalla 11 / 1, s. 21 /.

$$W_a = \frac{35,7}{2 \pi \times f} \times W_v \quad (11)$$

Painotettu tehollisarvo voidaan määrittää joko aikatasossa tai taajuustasossa. / 1, s, 21 /.

Aikatasossa painotettu tehollisarvo määritetään lausekkeesta 12 / 1, s. 21 /.

$$v_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [v_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$\tau = 1 \text{ s}$$

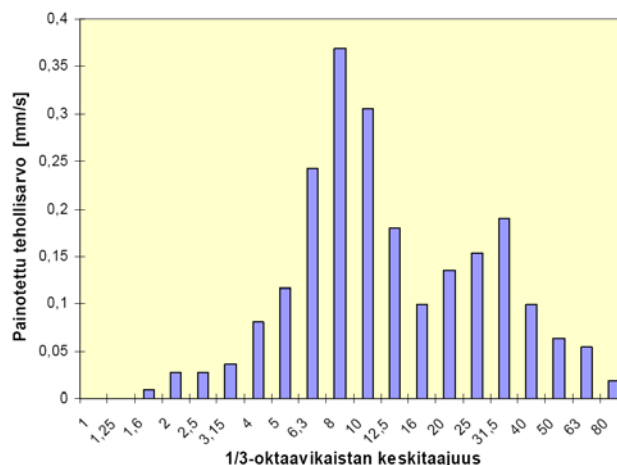
$$v_w(t_0) = \text{painotetun nopeussignaalin } v_w(t) \text{ tehollisarvo ajanhetkellä } (t_0)$$

Analysoitaessa kiihtyvyyssignaalia, nopeus $v_w(t)$ korvataan kiihtyvyydellä $a_w(t)$.

Taajuustasossa tarkastelu tehdään kolmannesoktaaveittain. Näytteestä määritetään suurin hetkellinen 1 sekunnin jakson tehollisarvo kaavasta 13 / 1, s. 22 /.

$$v_w = \sqrt{\sum_i (W_{v,i} v_i)^2} \quad (13)$$

$W_{v,i} v_i$ = kolmannesoktaavikaistalla i tapahtuvien värähtelyiden painotettu tehollisarvo (kuva 16) / 1, s.22 /.



Kuva 16. Värähtelysignaalin painotetut tehollisarvot $W_{v,i}$ v_i kolmannesoktaaveittain / 1, s. 22 /.

3.6.1 Norjan standardi NS 8176 (1999) ja värähtelyn tunnusluku

Asumisviihtyvyyteen perustuva raideliikennetärinän luokitus perustuu Norjan standardiin NS 8176 (1999). Norjan liikennetärinöitä koskeva standardi perustuu vuosina 1997 - 1998 tehtyyn ympäristöselvitykseen, jonka tarkoituksena oli arvioida liikenteestä aiheutuvan värähtelyn ja häiritsevyyden vuorovaikutusta. Selvitys perustuu laajaan haastattelu- ja mittausmateriaaliin. Tulosten perusteella standardissa esitetään ohjeet värähtelyjen mittausmenetelmistä, suositus värähtelyn raja-arvoista ja mittaustulosten raportoinnista. / 19, s.17. /

Taulukon 6 perusteena on värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$ (mm/s), joka määritellään eri liikennevälineistä mitatuista värähtelysignaalin tehollisarvoista / 13, s. 13 /. Standardin mukaan tunnusluvun tulee edustaa 95 %:n todennäköisyydellä kaikkia liikennevälineitä / 1, s. 23 /. Tunnusluvun perusteena ovat yhden viikon aikana mitatut 15 suurinta värähtelyä aiheuttavaa ajoneuvoa / 13, s. 13 /. Junaliikenteen ollessa kyseessä vähintään 30 % tulee olla suurimman värähtelyn aiheuttamia junia, jotka ovat useimmiten tavarajunia / 19, s.19 /.

Taulukon 6 raja-arvot perustuvat taajuuspainotettuun tehollisen nopeuden arvoon. Raja-arvot ovat suositus rakennusten värähtelyluokitukseksi. Tätä luokitusta on ehdotettu käytettäväksi myös Suomessa. Suositus koskee sekä päivä- että yöaikaa. / 1, s.25. / Suositusarvo tarkoittaa sitä arvoa, joka vaikuttaa niissä tiloissa, joissa ihminen pääasiassa oleskelee. Suositusarvoa

ei sovelleta esimerkiksi kahviloihin, kauppoihin ja liikuntatiloihin. Toimistotilat rinnastetaan asuintiloihin. / 1, s.26. / Värähtelyluokitus koskee normaaleja asuinrakennuksia. Mikäli rakennus on tarkoituksellisesti suunniteltu häiriöttömäksi, esimerkiksi sairaalat, värähtelyluokan tulee olla yhtä luokkaa korkeampi. / 13, s.16. /

Luokituskriteerin on toteuduttava pystyvärähtelyn osalta rakennuksen kaikissa lattioissa ja vaakavärähtelyn osalta kaikissa kerroksissa. Värähtelyluokan C mukaan arvioitaviksi alueiksi katsotaan olemassa olevien väylien varressa olevat alueet, joiden kaavaa laaditaan tai merkittävästi muutetaan. Myös luokan C alueiksi katsotaan alueet, joihin kohdistuvat ympäristövaikutukset muuttuvat uuden väylän vuoksi. Jo olemassa olevan väylän varrella tapahtuva yksittäinen täydennysrakentaminen tai väylään tehtävät vähäiset muutokset arvioidaan värähtelyluokan D mukaan. / 13, s. 15. /

Taulukko 6. Suositus värähtelyluokitukseksi ihmisten asumisviihtyvyyden kannalta (VTT 2005) / 1, s. 25 /.

Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	Taajuuspainotettu tehollisarvo $V_{w,95}$ (mm/s)
A	Hyvät asuinolosuhteet Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyä.	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät asuinolosuhteet Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta ne eivät ole häiritseviä	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla Keskimäärin 25 % pitää värähtelyä häiritsevänä	$\leq 0,60$

3.6.2 Tunnusluvun laskeminen

Eri pisteistä mitatut pysty- ja vaakasuuntaiset värähtelyt tarkastellaan toisistaan riippumattomina. Mittausjakson ajalta mitatuista värähtelynäytteistä määritetään jokaiselle suunnalle värähtelyn tunnusluku, jota verrataan ohjearvoihin. / 1, s. 20. /

Jokaisesta 15 suurimmasta värähtelyn aiheuttajasta määritetään suurin taajuuspainotettu värähtelyn tehollisarvo v_w . (kaava 12 tai 13). / 1, s. 23. /
Tunnusluku määritetään radan suunnassa, rataa nähden kohtisuorassa suunnassa sekä pystysuunnassa. Painotetun tehollisarvon määrittämisen jälkeen painotetuista suureista lasketaan keskiarvo kaavalla 14. / 1, s. 23. /

$$\overline{v_w} = \frac{\sum_{j=1}^N v_{w,j}}{N} \quad (14)$$

$$N = 15$$

ja keskihajonta kaavalla 15 / 1, s. 24. /

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (v_{w,j} - \overline{v_w})^2} \quad (15)$$

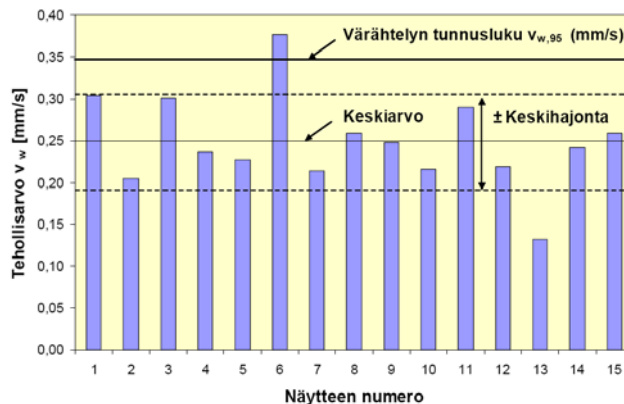
$$N = 15$$

Värähtelyn tunnuslukuna käytettävä ominaisarvo $v_{w,95}$ saadaan kaavasta 16.

$$v_{w,95} = \overline{v_w} + 1,8\sigma \quad (16)$$

$$\overline{v_w} = \text{taajuuspainotettujen tehollisarvojen keskiarvo}$$

$$\sigma = \text{keskihajonta} / 1, \text{ s. 24.} /$$



Kuva 17. Periaatekuva värähtelyn tunnusluvun määrittämisestä / 1, s. 24 /.

4 TÄRINÄKOHTEIDEN KARTOITUS JA PAIKKATIETO-OHJELMA

4.1 Taustaa

Useammalle vuodelle laadittavaan Ratahallintokeskuksen ympäristöstrategiaan on sisällytetty useita eri ympäristötoimialojen tavoitteita, osastrategioita. Yhtenä ympäristöstrategian osa-alueena on tärinästrategia, jossa määritetään tavoitteet rautatieliikenteen tärinän ja sen haittavaikutusten vähentämiseksi. Tärinästrategiassa asetetut tavoitteet pyritään toteuttamaan vuosittain päivitettävän ympäristöohjelman avulla. / 22. /

Tärinästrategian yhtenä tavoitteena on pyrkiä poistamaan rataverkon pahimmat tärinäkohteet. Tavoitteen saavuttamiseksi raideliikenteen tärinäkohteet tulisi ensin pyrkiä tutkimaan ja priorisoimaan. Myös kohteiden tärinähallintaan on tavoitteena kehittää toimivia ratkaisuja. Keskeistä tulisi olla tärinähaittojen ennakointi riittävän varhaisessa vaiheessa. Raideliikennetärinän ja sen haittavaikutusten tutkimiseen tulisi kiinnittää huomiota jo kaavoitusvaiheessa. / 8, s 9. / Muun muassa tässä työssä esitellyn laskentaohjelman avulla voidaan määrittellä, kuinka kauas rakennukset tulisi radasta sijoittaa, että tärinähaitat vältetään. Ratojen lähelle rakennettavien rakennusten perustamistapaan kannattaa myös kiinnittää huomiota.

4.1.1 Tärinäkohteet

Vuonna 2001 Ratahallintokeskuksessa on valmistunut viimeisin raideliikennetärinän haittoja koskeva tilannekatsaus. Katsauksessa on esitetty kohteet, joissa on esiintynyt rautatieliikennetärinää. Katsaukseen on kirjattu erikseen kohteet, joissa on tehty toimenpiteitä asian selvittämiseksi. Toimenpiteitä ovat olleet muun muassa paikan päällä suoritettut tilannekartoitukset ja/tai tarkemmat mittaukset.

2001 valmistuneen tilannekatsauksen jälkeen raideliikennetärinään liittyvää aineistoa on saatu lisää. Aineisto koostuu eri puolelta Suomea Ratahallintokeskukseen tulleista yhteydenotoista, eri kohteista tehdyistä rakennuskatselmuksista sekä mittausraporteista. Tämän työn tavoitteena on koota vuosilta 2000-2006 oleva materiaali, viedä se paikkatieto-ohjelmaan ja luoda tärinävaikutuskohteista digitaalinen kartta. Näin kyetään kartoittamaan tämänhetkiset raideliikennetärinän kohteet nykytilanteen selvittämiseksi. Tämä työ on tehty tärinästrategiassa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. RHK tulee käyttämään työn lopputuloksena syntynyttä paikkatieto-ohjelman tietokantaa uusien tärinäkohteiden tiedonhallinnassa ja päivityksessä.

Seuraavissa kappaleissa on selvitetty tarkemmin, minkälaista Ratahallintokeskuksessa olevaa materiaalia on hyödynnetty tärinäkohteiden nykytilan kartoituksen tekemiseksi.

4.1.2 Yhteydenotot

Tärinästä tulee Ratahallintokeskukselle yhteydenottoja sekä puhelimitse että kirjallisesti. Puhelimitse tulleet yhteydenotot myös kirjataan. Joissakin yhteydenotoissa on mukana tärinän haittavaikutuksiin kohdistuneita vaatimuksia. Vaatimukset voidaan jakaa kahteen ryhmään, joko vahingonkorvausvaatimukseen tai toimenpidevaatimukseen. Yhteydenotot koskevat joko ihmisten asumisviihtyvyyden alenemisen kokemista tai mahdollisesti tärinän johdosta rakenteille aiheutunutta vauriota.

4.1.3 Katselmukset

Yhteydenottojen pohjalta tärinäkohteelle voidaan tehdä katselmus. Katselmuksessa pyritään arvioimaan rakennuksen ja sen rakenteiden kunto. Katselmuksessa arvioidaan, onko kiinteistössä oleva vaurio aiheutunut

tärinästä vai jostain muusta syystä. Lisäksi kartoituksen laajempaan tavoitteena on osoittaa kohteet, joissa tulisi tehdä tärinän haitta-asteen selvittämiseksi tarkempia tärinämittauksia ja/tai tutkia mahdollisia tärinän vaimentamiseen liittyviä toimenpiteitä.

Katselmuksen tekee Ratahallintokeskuksen edustaja. Tarvittaessa käytetään ulkopuolista konsulttia rakenteiden vaurioitumisen syntymisajankohdan määrittämiseksi. Kattavasta katselmusraportista tulisi käydä ilmi muun muassa, missä kunnassa kohde sijaitsee, kuinka lähellä rataa katselmuksen kohde on, kohteen rakennusvuosi, rakennustyyppi, kerroslukumäärä, pinta-ala, perustustiedot, väliseinien materiaali, ikkunoiden tyyppi, kosteiden tilojen pintamateriaali sekä mahdolliset tärinästä aiheutuneet vauriot.

Lisäksi katselmuksessa tulisi antaa tarkempia tietoja muun muassa radan rakentamisvuodesta, perusparannusvuodesta, radan tukikerroksen materiaalista sekä maaperätiedoista, ratapölkkyjen materiaalista sekä kiskojen tyypistä. Katselmuksesta tulisi käydä myös ilmi mihin rataluokkaan rata kuuluu, mikä on rataosuuden kunnossapitotaso ja milloin kunto on tarkastettu sekä mikä on junan suurin sallittu akselipaino sekä nopeus ja kuinka monta junaa kulkee vuorokaudessa.

Kattava katselmus sisältää lopuksi yhteenvedon, jossa arvioidaan junan aiheuttaman tärinän aiheuttamaa haittaa. Laajemmissa katselmuksissa on liitteenä kairausutkimuksia maaperästä, kartta kohteen sijainnista ja kaavoituksesta sekä tarkempia junaliikennetietoja. Joidenkin katselmusten yhteydessä on myös tehty asukaskysely tärinän haitoista tarkemman tilannekartoituksen saamiseksi.

4.1.4 Mittaukset

Tärinän tasoa on mitattu junaratojen läheisyydessä olevista useista kohteista, yleensä asuinrakennuksissa, eri puolella Suomea. Näistä kohteista on laadittu mittausraportit. Kattavassa raportissa on muun muassa raiteen kiskotyyppi, rataosuuden suurin sallittu akselipaino tietyllä junan nopeudella ja junan maksimipainolla, radan kunto, mitattavan kohteen ja ratalinjan pohjaolosuhteet. Myös mitattujen junien kulkuajankohta, ohitusajan kesto, junan tyyppi, kokonaispaino, akselipaino sekä akselien lukumäärä, junan nopeus ja pituus on kirjattu raporttiin. Myös junaliikennemäärät mitattavan kohteen kohdalla tulisi selvittää. Kattavasta raportista selviää

myös mittauskohteen sijainti, kohteen etäisyys radasta, rakennuksen tyyppi ja perustamistapa sekä mittarin kiinnityskohta rakennuksessa. Mittausraporttien yhteenvedossa analysoidaan tärinän häiritsevyyttä ja otetaan kantaa VTT:n luokitukseen mitatun kohteen osalta, mikäli mittaukset on tehty VTT:n suositusten mukaisesti. Raporteissa on usein liitteenä mittaustulokset sekä signaalikäsittelyohjelman tulosteita.

VTT:n vuoden 2002 suosituksen mukaan mittausanturit tulisi kiinnittää niin, että ainakin yksi mittauspiste on asuinrakennusten perustuksissa, sokkelissa tai kellarissa. Näin tulokset ovat vertailukelpoisia VTT:n laatimien suositusarvojen kanssa (taulukko 5). Tässä työssä tutkituissa, ennen vuotta 2002 tehdyissä mittauksissa viitataan joko Ratateknisiin määräyksiin ja ohjeisiin (RAMO) tai vuoden 1998 Rautatieliikennetärinän mittausohjeisiin. Rautatieliikenne-tärinän mittausohjeet (1998) on ollut pohjana laadittaessa VTT:n vuoden 2002 suositusta. Vuoden 2002 jälkeen tehdyissä mittauksissa viitataan tähän VTT:n 2002 suositukseen (viite 7). VTT:n suositusta on käytetty ohjeena noin 70 %:ssa mittauksista.

RAMO:ssa esitetyt arvot tärinän suuruuden määrittämiseksi ns. toimenpiderajat on määritelty Ratahallintokeskuksessa / 23 /. Uusia ratoja suunniteltaessa asuinalueiden läheisyyteen tärinän heilahdusnopeuden pystykomponentin suuruus saa olla enintään 1,0 mm/s. Toinen toimenpideraja on määritelty jo olemassa oleville radoille. Tärinästä aiheutuvien haittavaikutusten vähentämiseen tähtääviin toimenpiteisiin on ryhdyttävä, jos resultoiva heilahdusnopeuden maksimiarvo ylittää 3,6 mm/s. / 24, s. 37. /

Tässä työssä tutkittujen mittausraporttien tietojen perusteella ei ole mahdollista arvioida raideliikennetärinän vaikutusta ihmisten viihtyvyyteen. Kohteiden mittausjaksot eivät ole olleet riittävän pitkiä eikä mittauksia ole tehty rakennuksissa riittävän laajasti. Mittausjaksojen pituus tulisi olla vähintään viikko ja mittauksia tulisi tehdä rakennuksissa sen lattian keskipisteestä, jolla kantavan rakenteen jänneväli on suurin tai jossa asukas on kokenut värähtelyt voimakkaimpina. Tarkempien mittaustulosten avulla voitaisiin määrittellä värähtelyn tunnusluku, jonka arvo on perustana suositukselle ihmisten asumisviihtyvyyden kannalta.

4.2 Tietokannan muodostaminen

Tämän työn päätavoitteena on ollut koota Ratahallintokeskuksessa olevat tärinähaittoihin liittyvät yhteydenotot, katselmukset sekä mittaukset digitaalisesti paikkatietoaineistoksi ArcView-ohjelman avulla. Aineisto koostuu 2000 - 2006 tehdyistä tärinäkohteisiin liittyvistä selvityksistä. Paikkatietomuotoisen aineiston käyttäminen tiedonhallinnassa, tiedon jakamisessa sekä hyödyntämisessä on kasvamassa tärkeäksi työvälineeksi RHK:ssa.

ArcView on GIS-ohjelmisto koordinaatein paikannettujen tietojen tuottamiseen, ylläpitoon, analysointiin ja visualisointiin. Aineistot voivat olla vektori- tai rasterimuotoisia kartta-aineistoja, taulukoita, tietokantoja, grafiikkaa ja multimedia-aineistoja, jotka sidotaan tunnettuun karttakoordinaatistoon. ArcView-ohjelmiston analyttisillä työkaluilla voidaan luoda sijaintitietoa ja määrittää eri aineistojen kohteiden välisiä ominaisuus- ja sijaintisuhteita. / 16 /

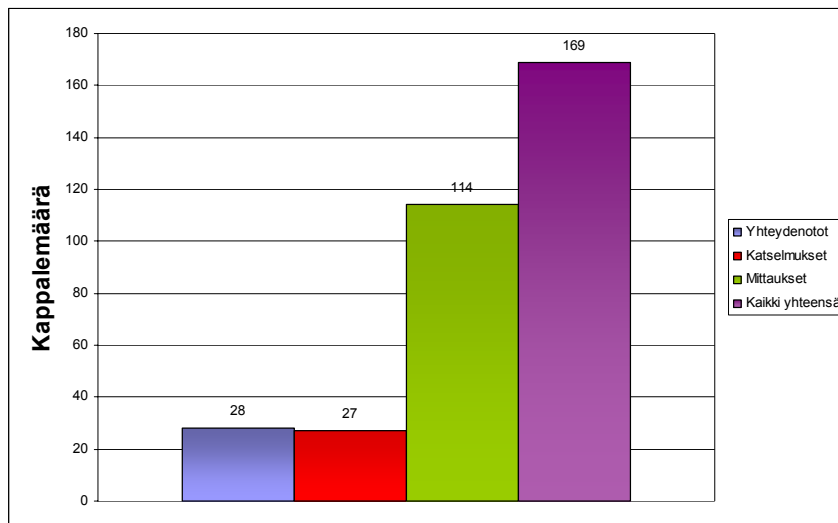
Tässä työssä jokaisesta tärinäkohdetypistä (yhteydenotto, katselmus, mittaus) luotiin ArcView-ohjelmalla oma taso, johon syötettiin siihen liittyvät ominaisuustiedot. Ominaisuustietoihin määritettiin niihin liittyvät tietojen kuvaukset. Ominaisuustiedot ja tietojen kuvaukset määritettiin tarkkaan monivaiheisessa prosessissa yhdessä Ratahallintokeskuksen edustajien kanssa. Ominaisuustiedot ja tietojen kuvaukset on esitelty liitteessä 5. Tämä tietoaineisto toimii jatkossa ohjeena tässä työssä luodun tietokannan päivittämiseksi.

Jokainen tärinäselvitys (yhteydenotto, katselmus ja mittaus) vietiin luotuun paikkatietojärjestelmään kohteen osoitetietojen perusteella Genimapista tilattujen peruskarttojen avulla. Kukin tärinäkohde editoitiin kartalle pisteenä. Jokaiseen paikkatietopisteeseen syötettiin kohdekohtaiset tiedot, jotka saatiin selville RHK:n materiaaleista. Koordinaatistoksi valittiin KKJ-koordinaatisto.

4.2.1 Tietokantaan viedyt tärinäkohteet

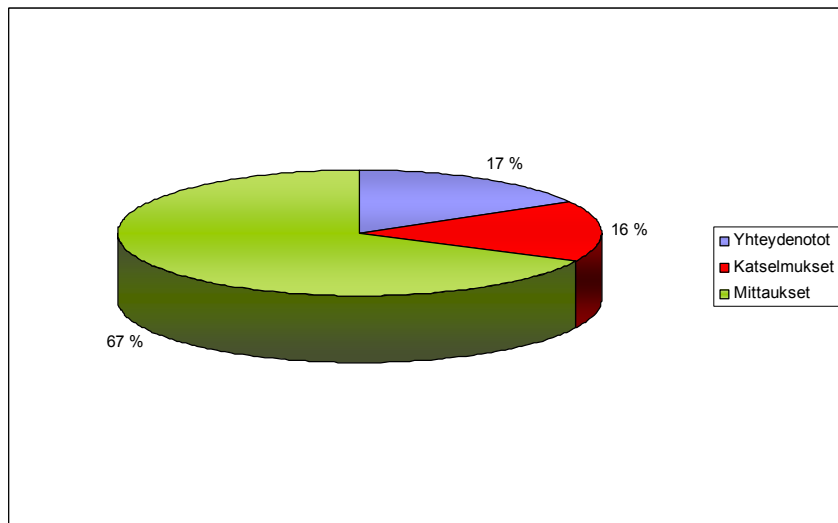
Tärinäkohteita oli yhteensä noin 100 kpl. Osassa kohteesta on sekä otettu yhteyttä Ratahallintokeskukseen että suoritettu katselmus ja useampia mittauksia. Yhteydenottoja, katselmuksia sekä mittauksia oli yhteensä 169

kappaletta. Yhteydenottoja oli 28 kohteesta, katselmuksia 27 kappaletta sekä tehtyjä mittauksia 114 kappaletta (kuva 18).



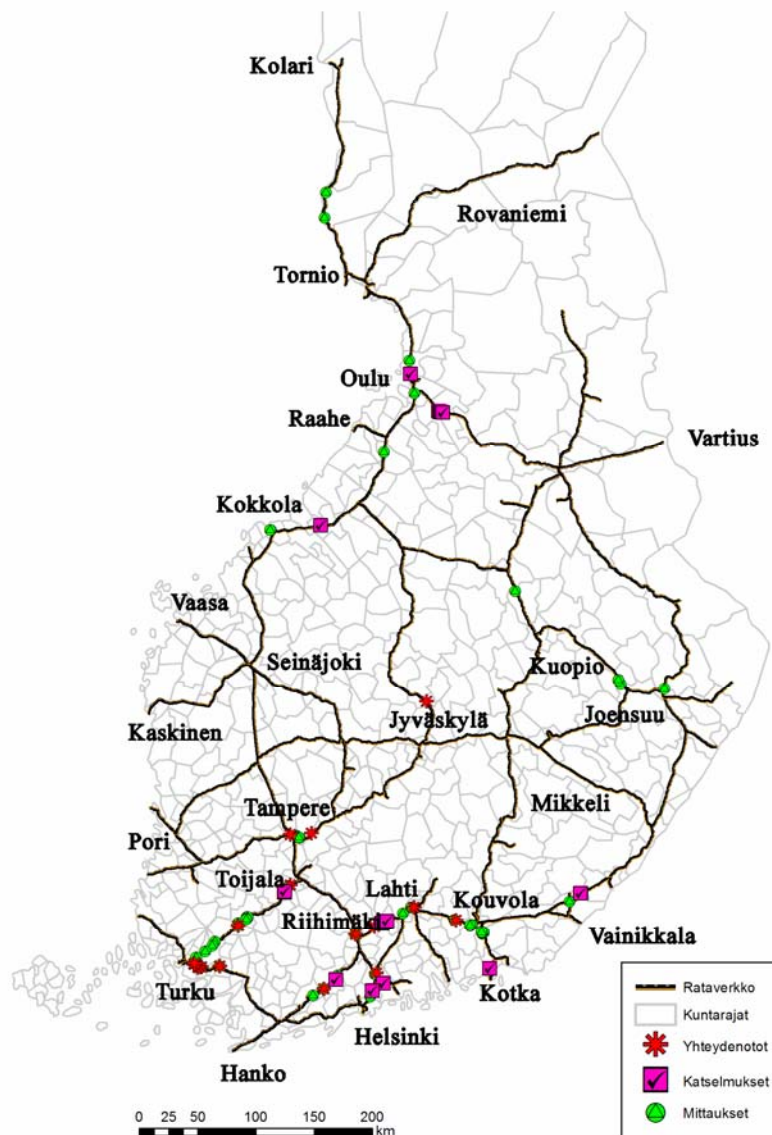
Kuva 18. Yhteydenottojen, katselmusten ja mittausten kappalemäärät kaikista tärinäselvityksistä.

Kuvassa 19 on esitetty diagrammina yhteydenottojen, katselmusten ja mittausten prosenttiosuudet kaikista selvityksistä.



Kuva 19. Yhteydenottojen, katselmusten ja mittausten prosenttiosuudet kaikista tärinäselvityksistä.

Työn lopputuloksena saatiin kartta, jossa näkyvät vuosien 2000 - 2006 tärinäkohteet (kuva 20 sekä liite 6). Kartasta nähdään, että tärinäselvityksiä on tehty eniten Lounais- ja Etelä-Suomen alueella.



Kuva 20. ArcView tuloste vuosien 2000 - 2006 tärinäkohteista.

4.2.2 Tietokannan hyödyntäminen

Paikkatietomuotoinen aineisto on yleistymässä tärkeänä tiedonhallinnan, tiedon jakamisen sekä hyödyntämisen välineenä Ratahallintokeskuksessa. Tässä työssä luotu tietokanta tulee olemaan osa laajempaa RHK:n tietojärjestelmää. ArcView-tietokanta tehtiin sellaiseksi, että uusien tärinäkohteiden vieminen järjestelmään on mahdollista. Tämän työn tuloksena saatu tietokanta on Ratahallintokeskukselle merkittävä työkalu tärinäkohteiden tiedonhallintaan. Jokainen paikkatietoon tuotu piste

(tärinäkohde) sisältää suuren määrän informaatiota (kohteen ominaisuustiedot) tärinähaittoihin sekä kohteeseen liittyen.

Tehtyyn tietokantaan on liitettävissä muita tietojärjestelmiä, kuten esimerkiksi maaperä- eli pehmeikkökisterijärjestelmä sekä tietoja asukasmääristä. Kun paikkatietoaineistoon yhdistetään muun muassa pehmeikkökisteri, uusia asuinalueita kaavoitettaessa voidaan mahdolliset riskialueet tärinän kannalta tunnistaa paremmin.

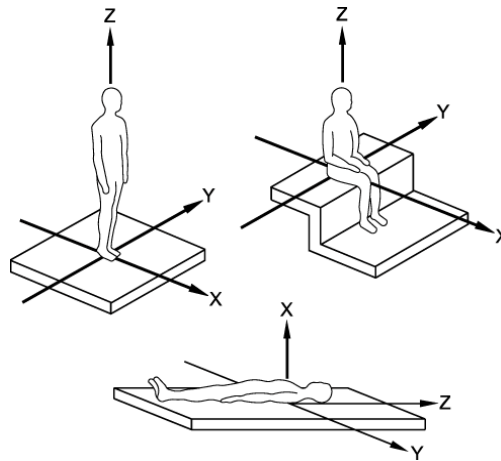
Jatkotoimenpiteenä tullaan luomaan ohjeet, joiden avulla tärinäkohteiden tiedonhallintaa tullaan helpottamaan. Ohjeiden avulla pyritään varmistamaan, että jatkossa tehtävissä tärinään liittyvissä mittauksissa ja raportoinneissa kohteen tietoja tallennetaan riittävästi. Ohjeiden laatimisessa tullaan käyttämään pohjana tässä työssä määritellyt ominaisuustiedot (liite 5).

5 LIKENNETÄRINÄÄN LIITTYVÄT KANSAINVÄLISET STANDARDIT

Tässä luvussa keskitytään kansainvälisten standardien tai ohjeiden niihin osiin, joissa on kyse värähtelyiden terveydellisistä haitoista sekä ihmisten viihtyvyyteen vaikuttavista värähtelyistä.

5.1 ISO-standardit

ISO 2631 (osa 1 ja osa 2) -standardi käsittelee ihmiseen kohdistuvien värähtelyiden mittausta ja niiden tulosten arviointia. Ihmisen herkkyyks värähtelyille riippuu värähtelyn taajuudesta, mikä otetaan ISO-standardissa huomioon painotuksella. Mitä enemmän taajuutta painotetaan, sitä herkempi ihminen on kyseisen taajuusalueen värähtelyille. ISO 2631-1 -standardissa lähtökohtana on, että painotettava suure on kiihtyvyyks. Standardissa käytetään erisuuruisia taajuuspainotuksia ihmisen vartalon eri suunnille. Taajuuspainotus on erilainen ihmisen vartalon suuntaisille (z-akseli) värähtelyille ja vartaloon nähden poikittaisille värähtelyille (x- ja y-akselit) (Kuva 21). / 19, s.9. /



Kuva 21. Taajuuspainotuksen suunnat ihmisen eri kehon suunnille (ISO 2631-1 (1997) / 20 s. 5 /.

Standardeissa ISO 2631-1 (1997) sekä ISO 2631-2 (1989) on esitetty eri suuntien yhdistetyn painotuksen vaikutus, joka suositellaan otettavaksi huomioon lausekkeella 17. / 19, s.9. /

$$a_v = \left(a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

jossa a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} ovat suurimmat eri suunnissa määritetyt painotetut arvot.

ISO 2631-2:n standardiehdotuksessa (ISO/DIS 2631 -2.2, 2001) suositellaan käytettäväksi yhdistettyä painotusta aina riippumatta värähtelysuunnasta, vaikka värähtelysuunnasta riippuvan painotuksenkin käyttö on mahdollista. Vanhemman painoksen mukaan yhdistettyä painotusta käytetään vain, kun henkilön asento voi vaihdella (pystyssä tai makuulla), tai kun häiritsevemmän värähtelyn suunta ei ole tiedossa. / 19, s.9-10 /

ISO 2631-2:n standardiehdotuksessa (ISO/DIS 2631 -2.2, 2001) esitetään, että värähtelyn suositusarvot määritetään käyttämällä ISO 2631-1 (1997) kuvattua liukuvan tehollisarvon määritelmää. Vertailuarvona käytetään suurinta määritettyä hetkellisen värähtelyn arvoa, joka määritetään luvussa 3.6 olevasta kaavasta 12. On huomioitavaa, että tässä nopeus $v_w(t)$ korvataan kiihtyvyydellä $a_w(t)$. / 19, s.14. /

Standardin ISO 2631-1 (1997) mukaan painotus on mahdollista tehdä myös taajuustasossa, jolloin taajuuspainotettu kiihtyvyyden tehollisarvo määritetään kaavasta 18 (vertaa kaava 13). / 19, s.14. /

$$a_w = \sqrt{\sum_i (W_i a_i)^2} \quad (18)$$

W_i = taajuuskaistaa i vastaava kiihtyvyyden painotuskerroin

a_i = taajuuskaistaa i vastaava kiihtyvyyden tehollisarvo / 19, s.14. /

5.1.1 Värähtelyn suositusarvot

Arvioitaessa standardin ISO 2631-1 (1997) mukaan seisovan, istuvan tai makaavan henkilön herkkyyttä liikennetärinälle, vertailuarvona käytetään suurinta kolmesta suunnasta määritettyä painotettua tehollisarvoa. / 19, s. 15. /

Standardi ISO 2631-1 (1997) esittää käsityksiä värähtelyn suuruuden suhteesta aistittavaan mukavuuteen. Varsinaisia suositusarvoja standardi ei kuitenkaan esitä. Havaitsemiskynnys riippuu suuresti ihmisestä. Painotetun kiihtyvyyden huippuarvon havaitsemiskynnys on keskimäärin 15 mm/s². / 19, s.15. /

Standardeissa ISO 2631-2 (1989) ja ISO 10137 (1992) on annettu liikenteen aiheuttamalle värähtelylle suositusarvot (taulukko 7). Suositusarvot määrittävät ihmisen kokeman tärinän häiritsevyyttä. / 19, s. 16. /

Taulukko 7. Värähtelyn suositusarvot ISO 2631-2 (1989) ja ISO 10137 (1992) mukaan eri taajuuspainotuksilla / 19, s.16 /.

RAKENNUS	AIKA	Kiihtyvyyden tehollisarvo (mm/s ²)			Nopeuden tehollisarvo (mm/s)		
		Käytetty painotus			Käytetty painotus		
		Pysty- suunta	Vaaka- suunta	Yhdis- tetty	Pysty- suunta	Vaaka- suunta	Yhdis- tetty
Erikoistilat	Päivä Yö	5	3,6	3,6	0,1	0,29	0,1
Asuinrakennukset	Päivä Yö	10-20 7	7,2-14 5	7,2-14 5	0,2-0,4 0,14	0,58-1,15 0,40	0,2-0,4 0,14
Toimistorakennukset	Päivä Yö	20	14	14	0,4	1,15	0,4
Teollisuusrakennukset	Päivä Yö	40	29	29	0,8	2,3	0,8

Taulukossa esitetyt nopeuden tehollisarvot on laskettu kaavalla 19 kiihtyvyyssarvoista käyttäen nopeus- ja kiihtyvyysspainotuksien välillä yhteyttä, joka on riippuvainen värähtelytaajuudesta / 19, s. 16 /.

$$\frac{v}{a} = \frac{2\pi f}{k} \quad (19)$$

Tekijä k on 50,2 pystysuuntaiselle, 12,5 vaakasuuntaiselle ja 36,2 yhdistetylle painotukselle. / 19, s. 16 /.

5.2 Pohjoismaiset standardit ja ohjeet

5.2.1 Norjan standardi

Standardissa NS 8176 (1999) ihmisen herkkyyden riippuvuus värähtelytaajuudesta otetaan huomioon painottamalla värähtely kolmannesoktaaveittain. Värähtelyn painotuksessa ei eri suuntia painoteta eri tavoilla, kuten ISO-standardeissa, vaan painotus perustuu yhdistettyyn painotukseen. Norjan NS 8176 -standardissa esitetty painotus vastaa riittäväällä tarkkuudella ISO-standardeissa esitettyä yhdistettyä painotusta. Painotuksessa käytetään kaavaa 19, jossa k on tällöin 35,6. / 19 s.17, 19 /

Standardissa NS 8176 (1999) värähtelyiden vertailuarvona käytetään joko taajuuspainotettua tehollista nopeutta tai kiihtyvyyttä. Kappaleessa 3.6.1 oleva taulukko 6 perustuu nopeuden arviointiin. Näitä raja-arvoja suositellaan käytettäväksi myös Suomessa. Taulukossa 8 kriteerit perustuvat taajuuspainotettuun teholliseen nopeuteen sekä kiihtyvyyteen. / 19, s.21. /

Taulukko 8. Värähtelyluokituksen suositusarvot perustuen nopeuden sekä kiihtyvyyden vertailuarvoon (NS 8176 1999) / 20, s.21 /.

Kriteeri	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D
$v_{w,95} \text{ (mm/s)}$	≤ 0,1	≤ 0,15	≤ 0,3	≤ 0,6
$a_{w,95} \text{ (mm/s}^2\text{)}$	≤ 3,6	≤ 5,4	≤ 11,0	≤ 21,0

5.2.2 Ruotsin ohjeet

Ruotsin ympäristövirasto asetti vuonna 1995 tavoitteeksi liikennetärinän ohjearvojen laatimisen. Tämän johdosta laadittiin liikennetärinän suositusarvot sisältävät menettelytapaohjeet (Banverket 1997). Esitetyt suositusarvot eivät ole sitovia, vaan lähtökohtana on se, että toimenpiteet perustellaan tapauskohtaisesti tekniseltä, taloudelliselta ja ympäristövaikutusten kannalta. / 19, s. 30. /

Ruotsalaiset liikennetärinälle asetetut suositusarvot vastaavat likimain Norjan standardissa (NS 8176, 1999) esitettyä käytäntöä, jolloin taajuuspainotus on tehty yhdistetyn painotuksen mukaan. Taulukossa 9 on Ruotsin tavoitteelliset ohjearvot rakennuksesta mitatuille värähtelyille. / 19, s. 30. /

Taulukko 9. Tavoitteelliset värähtelyn suositusarvot perustuen nopeuden sekä kiihtyvyyden vertailuarvoon (Banverket 1997) / 19, s. 30 /.

Kriteeri	Uudet asuinalueet ja peruskorjattavat rata-alueet	Vanhat rata- ja asuinalueet
$v_{rms} (mm/s)$	$\leq 0,4$	$\leq 1,0$
$a_{rms} (mm/s^2)$	$\leq 14,0$	$\leq 36,0$

Nopeuden vertailuarvo v_{rms} vastaa periaatteessa norjalaisessa standardissa käytössä olevaa vertailuarvoa $v_{w,95}$. Verrattaessa taulukon 9 suositusarvoja taulukossa 6 Suomessa käytössä oleviin norjalaisen suosituksen raja-arvoihin havaitaan, että ruotsalainen suositus on uusien rakennuskohteiden (luokka C) suhteen hieman lievempi ja vanhojen rakennuskohteiden (luokka D) suhteen selvästi lievempi kuin Suomessa käytössä oleva norjalainen suositus. / 19, s. 30. /

5.3 DIN-4150-2 (1999) -standardi

Standardi DIN 4150-2 (1999) käsittelee rakennusten värähtelyn vaikutusta ihmiseen. Standardissa annetut suositusarvot perustuvat pelkästään ihmisen kehon tuntemuksiin, joten se ei käsittele värähtelystä aiheutuvia mahdollisia välillisiä vaikutuksia. / 19, s. 24. /

Standardi käsittelee värähtelyä dimensiottoman tunnusluvun KB avulla. Käytännössä tunnusluku on sama kuin painotettu värähtelyn tehollisarvo v_w (mm/s). Värähtelynopeus painotetaan samalla tavalla, kuin ISO- ja NS-standardeissa. / 19, s. 24. /

Standardissa ohjeistetaan että mittausjakso tai erikseen mitattavien kulkuvälineiden määrä valitaan niin, että otoksessa mitattavien junatyyppien, esiintymistiheyksien ja nopeuksien tulee edustaa todellista jakautumaa. Kutakin junatyyppiä tulisi mitata vähintään 5 kappaletta. / 19, s. 24. /

Mitatusta ja taajuuspainotetusta näytteestä $KB(t)$ määritetään liukuva tehollisarvo KB_F aikatasossa kaavasta 20. Tässä voidaan käyttää myös kaavaa 12 / 19, s. 24. /

$$KB_{F(t_0)} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t=0}^{t_0} KB(t)^2 \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) dt} \quad (20)$$

$$\tau = 0,125 \text{ s}$$

Näytteestä poimitaan suurin nopeuden tehollisarvo KB_{Fmax} . Tarkastelua varten mittausjakso jaetaan 30 sekunnin pituisiin jaksoihin (T_i), joista kustakin jaksosta määritetään erikseen suurin tehollisarvo KB_{FTi} aikatasossa ja lisäksi lasketaan koko mittausjakson tehollinen keskiarvo KB_{FTm} kaavasta 21. / 19, s. 25. /

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2} \quad (21)$$

KB_{FTi} = jakson suurin tehollisarvo aikatasossa

N = jaksojen lukumäärä

Standardin värähtelyn suositusarvot perustuvat kahteen vertailuarvoon, suurimpaan nopeuden tehollisarvoon KB_{Fmax} ja arvioitavana vuorokaudenaikana (päivä tai yö) tapahtuvan värähtelyn teholliseen keskiarvoon KB_{FTr} , joka määritellään kaavasta 22 / 19, s. 27. /

$$KB_{FT_r} = \sqrt{\frac{1}{T_r} \sum_j T_{e,j} KB_{FT_m,j}^2} \quad (22)$$

T_r = aika, jolloin värähtelyt tapahtuvat, päivisin 16 h (klo 6.00 -22.00) ja öisin 8 h (klo 22.00–6.00)

$T_{e,j}$ = värähtelyn kesto-aika

$KB_{FT_m,j}$ = suurin lausekkeen 21 mukainen värähtelyn tehollisarvo

Vertailuarvot määritetään sekä pystysuuntaisesta (z) että vaakasuuntaisista (x ja y) värähtelyistä. Suurin eri suunnista arvoista on määräävä / 19, s. 26 /.

5.3.1 Värähtelyn suositusarvot

Värähtelyjen vertailuarvot ovat taulukossa 10. Mikäli suurin nopeuden tehollisarvo $KB_{F_{max}}$ on pienempi kuin pienin taulukossa esitetty vertailuarvo A_u , standardin vaatimukset täyttyvät. Jos $KB_{F_{max}}$ on suurempi kuin taulukossa esitetty vertailuarvo A_0 , niin standardin vaatimukset eivät täyty. Jos $KB_{F_{max}}$ on näiden arvojen välissä, tarkastelu tulee suorittaa arvioitavana vuorokaudenaikana tapahtuvan värähtelyn teholliseen keskiarvoon KB_{FT_r} perustuen. Jos KB_{FT_r} on pienempi kuin taulukossa esitetty vertailuarvo A_r , niin standardin vaatimukset täyttyvät. / 19, s. 26. /

Taulukko 10. Värähtelyjen vertailuarvot rakennuksen sisätiloissa (DIN 4150-2. 1999) / 19, s. 27 /.

Tarkasteltava alue	Päivisin			Öisin		
	A_u	A_0	A_r	A_u	A_0	A_r
1. Teollisuusalueet	0,4	6,0	0,2	0,3	0,6	0,15
2. Pienteollisuusalueet	0,3	6,0	0,15	0,2	0,4	0,1
3. Asuinalueet, joita ei ole erityisesti rakennettu teollisuus-, elinkeino- eikä asuinalueeksi (keskustat, seka-alueet, kylät)	0,2	5,0	0,1	0,15	0,3	0,07
4. Asuinalueet, jotka on suunniteltu pääasiallisesti tai yksinomaan asuinkäyttöön	0,15	3,0	0,07	0,1	0,2	0,05
5. Erityisrakennukset (esim. sairaalat), jotka on tarkoituksellisesti sijoitettu häiriöttömälle alueelle	0,1	3,0	0,05	0,1	0,15	0,05

Kaupunkirakentamisen suunnittelussa, joka käsittää uudet asuinalueet sekä rata-alueet, käytetään aina taulukossa 10 esitettyjä A_u - ja A_r -arvoja. Olemassa olevalle maanpäälliselle kiskoilla tapahtuvalle liikenteelle (paikallisjunat, raitiovaunut, metro) voidaan käyttää 1,5- kertaisia A_u - ja A_r -arvoja. / 19, s. 26. /

5.4 Hollannin ohjeistus tärinälle

Hollannin nykyinen ohje (SBR-Richtlijn, 2002) perustuu DIN 4150 (1999) -standardiin sekä Hollannin SBR-Richtlijn-ohjeen painokseen vuodelta 1993 / 21, s.7 /. Ohje on jaettu kolmeen osaan. Osa A keskittyy mahdollisiin tärinän aiheuttamiin rakenteisiin kohdistuviin vaurioihin, osa B tärinästä johtuvaan ihmisten viihtyvyyden alenemisen suositusravoihin ja osassa C keskitytään tärinäravoihin, jotka aiheuttavat laitteisiin kohdistuvia häiriöitä. Kaikki kolme osaa sisältävät sekä tärinän mittausohjeet että ohjearvosuositukset. / 21, s.4. /

5.4.1 Suositusravojen valinta

Hollannin ohjeiden mukaan suositusravojen valinta riippuu useammista tekijöistä, jotka on jaettu kahteen osa-alueeseen: tärinän kestoon ja laatuun sekä olosuhteisiin, joihin tärinä liittyy / 21, s.22 /.

Suositusarvojen valinta aloitetaan määrittämällä, mihin seuraavista luokista tärinä voidaan sijoittaa.

- Onko kyseessä jatkuva tärinä pidemmällä, yli 3 kk:n, aikajaksolla (esim. jatkuvatoiminen kone teollisuudessa)
- Onko kyseessä toistuvasti esiintyvä tärinä pidemmällä, yli 3 kk:n aikajaksolla (esim. tie- ja raideliikenne)
- Onko tärinä jatkuvaa tai usein toistuvaa aikajaksolla, joka on lyhyempi kuin 3 kk (esim. rakennus- ja purkutyöt)
- Satunnaisesti esiintyvä tärinä, lyhytkestoinen tärinä (esim. räjähdykset) / 21, s.22 /.

Luokituksen valitsemisen jälkeen suositusravojen määrittämiseksi valitaan olosuhteiden ja tilanteen laatu. Luokitus riippuu siitä, onko kyseessä

- Jo olemassa oleva tilanne eikä heräte muutu (esimerkiksi vanha rata ja olemassa olevat rakennukset, liikennemäärät pysyvät samoina, taulukko 11)
- Uusi tilanne eli kyseessä on uusi heräte ja/tai uudet rakennukset (esimerkiksi uuden radan ja/tai asuinalueen rakentaminen, taulukko 12)
- Muutettu tilanne (esimerkiksi liikennemäärät kasvavat, rataa peruskorjataan, taulukko 12) / 21, s. 22. /

Taulukko 11. Hollannin ohjeen suositusarvot, jo olemassa olevilla olosuhteilla (pyritään vanhoilla asuinalueilla) / 21, s. 25 /.

Rakennuksen tyyppi / käyttötarkoitus	Päivisin ja iltaisin			Öisin		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Terveystenhoito (erityisrakennus)	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Asuminen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Koulut ja toimistot	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Kokouksetilat (esim.kirkko, valtionneuvoston sali)	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Herkät rakennukset (esim. laboratoriot)	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Taulukko 12. Hollannin ohjeen suositusarvot uusille ja muutetuille tilanteille (suositus uusien asuinalueiden ja väylien suunnittelussa) / 21, s. 24 /.

Rakennuksen tyyppi / käyttötarkoitus	Päivisin ja iltaisin			Öisin		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Terveystenhoito (erityisrakennus)	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Asuminen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Koulut ja toimistot	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Kokouksetilat (kirkko, valtionneuvoston sali)	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Herkät rakennukset (esim. laboratoriot)	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Tuloksen saamiseksi värähtelyn heilahdusnopeuden huippuarvoa (v_{\max}) tulee verrata seuraaviin kriteereihin:

A₁ = alin suositusarvo värähtelyn heilahdusnopeuden huippuarvolle (v_{\max})

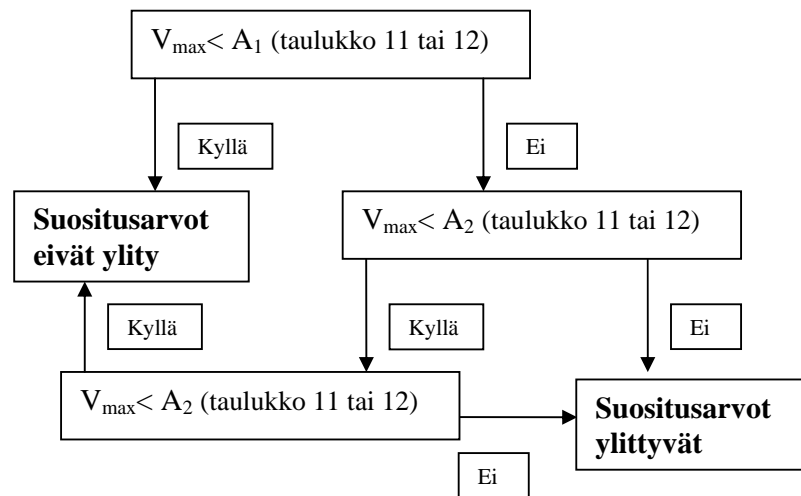
A₂ = ylin suositusarvo värähtelyn heilahdusnopeuden huippuarvolle (v_{\max})

A₃ = suositusarvo arvioitavana vuorokaudenaikana (v_{per}), (päivä klo 7.00 - 19.00, ilta klo 19.00 - 23.00, yö klo 23.00 - 7.00) tapahtuvalle värähtelyn heilahdusnopeuden huippuarvolle / vertaa DIN 4150-2 (1999). / 21, s. 24. /

Suositusarvoja voidaan erityistapauksissa harkinnan mukaan kohottaa kertomalla taulukon 11 arvot 1,8 kertaisiksi. Poikkeuksena ovat taulukossa olevat viimeisen rivin arvot. Erityistapauksia voivat olla muun muassa rakennukset teollisuusalueilla. / 21, s. 24. /

5.4.2 Suositusarvojen ylittyminen

Kuvassa 22 on käyty kaavion avulla läpi, milloin Hollannin ohjeissa olevien kriteerien (A_1 , A_2 , A_3) mukaan suositusarvot ylittyvät. Eli jos $A_3 < A_1 \leq A_2$, suositusarvot eivät ylity. / 21, s. 24. /



Kuva 22. Suositusarvojen ylittymisen kriteerit Hollannin normin mukaan / 21, s. 24. /

5.5 USA:n ohjeet

USA:ssa liittovaltion rautatiehallinnon julkaisemat ohjeet (FRA 1998) koskevat suurnopeusjunien aiheuttaman värinän lisäksi myös melua. Junan aiheuttaman värähtelyn voimakkuus ilmaistaan desibeleinä ja yhteys nopeuden tehollisarvoon esitetään kaavassa 23. Kun käytetään desibeliasteikkoa, on huomattava, että tulos riippuu aina vertailuarvosta v_{ref} , joka on erilainen eri maassa. / 19, s. 31. /

$$L_v = 20 \log_{10} \left(\frac{v}{v_{ref}} \right) \quad (23)$$

L_v = värähtelyn voimakkuus desibeleinä

v = nopeuden tehollisarvo

$v_{ref} = 10^{-6}$ tuumaa/s = $25,4 \times 10^{-6}$ mm/s on nopeuden vertailuarvo

Taulukko 13. Värähtelyluokkien suositusarvot eri rakennustyypeille (FRA 1998) / 19, s. 31. /

Luokka	Käyttöalue	L_v (VdB)	v (mm/s)
1	Rakennukset, joissa värähtely häiritsee herkkien laitteiden toimintoja	65	0,05
2	Asunnot ja rakennukset, joissa normaalisti nukutaan	80	0,25
3	Toimistoalueet, joita käytetään pääasiassa päiväsaikaan	83	0,36

Taulukossa 13 esitetyt arvot ovat vertailukelpoisia taulukoissa 7 ja 8 esitettyjen arvojen kanssa ja USA:n ohjeissa (FRA 1998) esitetyt arvot tukevat hyvin taulukoissa esitettyjä suosituksia. / 19, s. 31. /

5.6 Kansainvälisten standardien ja ohjeiden yhteenveto

Taulukossa 14 on esitetty eri kansainvälisten standardien ja ohjeiden suosituksia painotetun tehollisarvon v_w suositusarvoiksi.

Taulukko 14. Kansainvälisten standardien ja ohjeiden suosituksia värähtelyiden suositusarvoiksi. Suomessa käytössä olevat suositukset on lihavoitu. / 1, s.29. /

v_w (mm/s)	Soveltamisalue, häiriölähde ja kansainvälinen normi
$\leq 1,0$	Vanhat rata- ja asuinalueet, junat (Banverket 1997)
$\leq 0,6$	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla, kisko- ja tieliikenne (NS 8176 1999)
$\leq 0,6$	Uudet teollisuusalueet, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,6$	Maanpäällinen kiskoliikenne vanhoilla asuinalueilla (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,4$	Uudet asuinalueet ja peruskorjattavat väylät, junat (Banverket 1997)
$\leq 0,36$	Uudet toimistoalueet, junat (FRA 1998)
$\leq 0,3$	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa, kisko- ja tieliikenne (NS 8176, 1999)
$\leq 0,3$	Uudet seka-alueet, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,3$	Maanalainen kiskoliikenne vanhoilla asuinalueilla (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,25$	Uudet asuinalueet, juna (FRA 1998)
$\leq 0,25$	Uudet asuinalueet, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150–2, 1999)
$\leq 0,15$	Suhteellisen hyvät olosuhteet, kisko- ja tieliikenne (NS 8176, 1999)
$\leq 0,15$	Erityisrakennukset, jotka on tarkoituksellisesti suunniteltu häiriöttömäksi, kisko- ja tieliikenne (DIN 4150-2)
$\leq 0,10$	Hyvät asuinolosuhteet, kisko- ja tieliikenne (NS 8176,1999)

Taulukko osoittaa, että Saksan DIN 4150 (1999), USA:n FRA 1998 ja Ruotsin Banverket (1997) suositukset tukevat Suomessa käytössä olevan Norjan standardiin NS 8176 perustuvaa luokitusta / 1, s. 29 /.

Taulukossa esitetyt DIN 4150-2 -standardin ja FRA 1998 -ohjeen tehollisarvoja voidaan verrata toisiinsa tarkasti vain kun nopeussignaalisissa yli 10 Hertsin taajuudet ovat vallitsevia. DIN 4150-2 käyttää tehollisarvon määrittämisessä 0,125 s:n aikaikkunaa ja FRA 1998 ei käytä ollenkaan värähtelynopeuden taajuuspainotusta. Vertailtaessa keskenään liikennetärinälle laadittuja kansainvälisiä standardeja tai ohjeita on huomioitava, että ainoastaan Norjan standardi NS 8176 antaa ohjeet tilastollisen maksimiarvon (v_{w95}) määrittämiseksi. / 1, s. 29. /

Eri standardeissa ja ohjeissa raja-arvoja tai ohjearvoja annetaan käyttäen laatuina kiihtyvyyttä tai nopeutta. Arvot voidaan ilmoittaa joko huippu- tai tehollisarvoina. Koska myös taajuuspainotukset voivat olla erilaisia eri standardeissa ja ohjeissa, arvojen vertailu suoraan toisiinsa ei ole mahdollista ellei raja-arvoja tai ohjearvoja muuteta yhtenäiseen esitysmuotoon. / 19, s.38. /

6 YHTEENVETO

Työn päätavoite oli koota Ratahallintokeskukseen raideliikenteen tärinähaitoista tulleet yhteydenotot, katselmukset sekä tärinämittaukset ja viedä ne paikkatieto-ohjelmaan. Tärinäkohteista luotiin digitaalinen paikkatietoaineisto ArcView-paikkatieto-ohjelman avulla. Tässä työssä käsitelty aineisto koostuu vuosina 2000 - 2006 tärinään liittyvistä selvityksistä.

Paikkatietomuotoisen aineiston hyödyntäminen tiedonhallinnan ja tiedon jakamisen välineenä on yleistymässä Ratahallintokeskuksessa. Työn tuloksena tehty tärinäkohteisiin liittyvä paikkatietoaineisto on Ratahallintokeskukselle merkittävä työkalu tärinäkohteiden tiedonhallintaan. Jokainen ArcView-tietokantaan viety piste sisältää runsaasti tietoa kyseisestä kohteesta. Tietokanta tehtiin sellaiseksi, että uusien tärinäkohteiden vieminen järjestelmään on mahdollista.

Tässä työssä muodostettuun tietokantaan on liitettävissä muita tietojärjestelmiä, kuten esimerkiksi maaperä- eli pehmeikkökisterijärjestelmä sekä tiedot asukasmääristä. Kun tietokantaan yhdistetään muun muassa pehmeikkökisteri, uusia asuinalueita kaavoitettaessa mahdolliset riskialueet tärinän kannalta voidaan tunnistaa riittävän varhaisessa vaiheessa.

Työssä tutkituissa mittauksissa viitataan useampaan ohjeeseen riippuen siitä milloin mittaus on tehty. Mittauksissa käytetyissä ohjeissa määritetään lähes pelkästään tärinän tutkimista rakennusten vaurioitumisriskin kannalta. Ennen vuotta 2002 tehdyissä mittauksissa viitataan joko Ratateknisiin määräyksiin ja ohjeisiin (RAMO) tai vuoden 1998 Rautatieliikennetärinän mittausohjeisiin. Suurin osa mittauksista viittaa VTT:n vuoden 2002 ohjeeseen, jossa ei ole ohjeistettu värähtelyn tunnusluvun määrittämistä. Tunnusluku on perusteena suositusarvoille, jotka kuvaavat raideliikennetärinän vaikutuksia ihmisen viihtyvyydelle. Tunnusluvun määrittäminen on ohjeistettu vasta VTT:n vuoden 2004 raportissa. Jatkossa raideliikennetärinän vaikutuksia ihmisten asumisviihtyvyyteen olisi tärkeä tutkia mittaamalla.

Jatkotoimenpiteenä tullaan laatimaan ohjeistus, jonka avulla tärinäkohteiden tiedonhallintaa tullaan helpottamaan. Ohjeiden laatimisessa tullaan käyttämään tässä työssä määriteltyjä kohteiden ominaisuustietoja. Tavoitteena on, että tulevaisuudessa tärinään liittyvistä selvityksistä löytyisi riittävästi kohteeseen liittyvää tietoa. Tämä yhtenäistää tiedon keräämisen ja tulee helpottamaan uusien tärinäkohteiden ja niihin liittyvien tietojen viemistä luotuun ArcView-tietokantaan.

VIITELUETTELO

- [1] Talja Asko, Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta, VTT tiedotteita 2278, Otamedia Oy, Espoo, 2005
- [2] Ympäristösuojelulaki 4.2.2000/86
- [3] Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta 9.8.1994/737
- [4] Maankäyttö- ja rakennusasetus 10.9.1999/895
- [5] Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista, Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa B3, määräykset ja ohjeet, 25.9.2003
- [6] Mäkelä T, Mäntynen J, Säily S, Rautatieliikenne, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Julkaisu 33, Tampere 2002
- [7] Törnqvist J, Nuutilainen O, Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin. Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen, VTT tiedote, Otamedia Oy, Espoo 2002
- [8] Ratahallintokeskuksen ympäristöraportti 2003, Frenckellin Kirjapaino Oy, Helsinki 2004
- [9] Ratahallintokeskuksen toiminta- ja taloussuunnitelma vuosille 2008-2011, Helsinki 10.11. 2006
- [10] Ratahallintokeskus, Vuosikertomus 2005, Priimuspaino Oy, Loimaa 2006
- [11] Tilannekatsaus, rautatieliikenteen aiheuttama tärinä, Ratahallintokeskuksen raportti 23.2.2001
- [12] Suvanto Kari, Tekniikan fysiikka 2, Edita, Helsinki 2005
- [13] Talja A, Törnqvist J, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, VTT tiedote, Otamedia Oy, Espoo 2006
- [14] Räjätystyöt, Vuolio Raimo, Suomen Maanrakentajien Keskusliitto ry, Forssan kirjapaino 1991
- [15] UVS 1500 Vibration Monitor, User's Manual, Asem Printed Matter No. 93090
- [16] Esri-Finland-kotisivut
[www-dokumentti]<www.esri-finland.com>
Luettu 9.1.2007
- [17] Luoma R., Nuutilainen O., Geobotnia Oy, Heikkilänkankaan tärinäkartoitus-loppuraportti, työnnumero 9301, 31.1.2003
- [18] Luoma R., Nuutilainen O., Geobotnia Oy, Rautatieliikennetärinän mittaus, Muhos-loppuraportti, työnnumero 8696, 31.5.2000

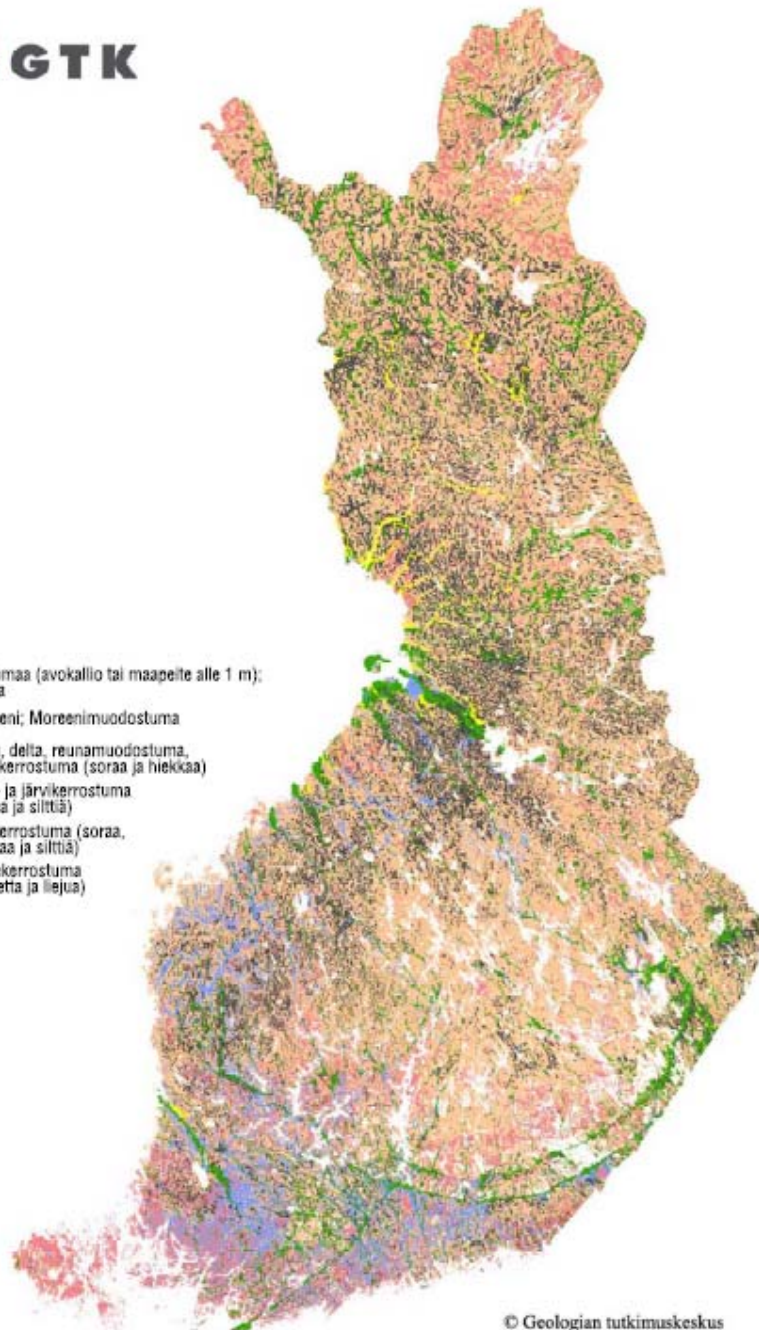
- [19] Talja Asko, Liikenneperäinen tärinä – Kirjallisuusselvitys raja-arvoista ja tärinän mittaamisesta, VTT:n sisäinen raportti RTE50-IR-5/2003, 23.5.2004. Julkaisematon.
- [20] ISO 2631–2. 1989. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz). Geneve: International Organization for Standardization
- [21] Trillingen, schade aan gebouwen meet- en beoordelingsrichtlijn. Deel B, Hinder voor personen in gebouwen, Van Marken Delft Drukkers, Delft, augustus 2002
- [22] Ratahallintokeskuksen kotisivut
[www-dokumentti]<www.rhk.fi>
Luettu 2.4.2007
- [23] Puhelinkeskustelu Ratahallintokeskuksen ylitarkastaja Tuomo Viitalan kanssa 5.4.2007
- [24] Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO), osa 3, Radan rakenne, 15.8.2002

Maapohjatyyppi	Suljettu leikkauslujuus (kPa)	Painokairausvastus (Puoli kierrosta/1 cm)	Leikkausaallon etenemisnopeus V_s , (m/s)
Pehmeä savi, vesipitoisuus 50 - 120 %	< 10	< 10	< 80
Pehmeä savi	10...25	10...30	80...120
Sitkeä savi	25...50	30...50	100...200
Kova savi	50...100	50...100	150...400
Löyhät välimaalajit (siltit, silttiset hiekat)	30...70 (menetelmä epäluotettava)	20...80	80...250
Tiiviit välimaalajit (siltit, silttiset hiekat)	(menetelmä epäluotettava)	35...	150...400
Löyhät hiekat	-	50...150	100...200
Tiiviit hiekat ja löyhät keskitiiviit sorat	ei määritettävissä	200...500	150...250
Tiiviit sorat ja moreenit	ei määritettävissä	> 200	200...500
Iskostuneet moreenit	ei määritettävissä	> 300	400...800
Kallio	-	-	> 700



Selite

- Kalliomaan (avokallio tai maapeite alle 1 m);
Rakka
- Moreeni; Moreenimuodostuma
- Harju, delta, reunamuodostuma,
ranta-kerrostuma (soraa ja hiekkaa)
- Meri- ja järvi-kerrostuma
(savea ja silttiä)
- Jokikerrostuma (soraa,
hiekkaa ja silttiä)
- Turvekerrostuma
(turvetta ja liejua)



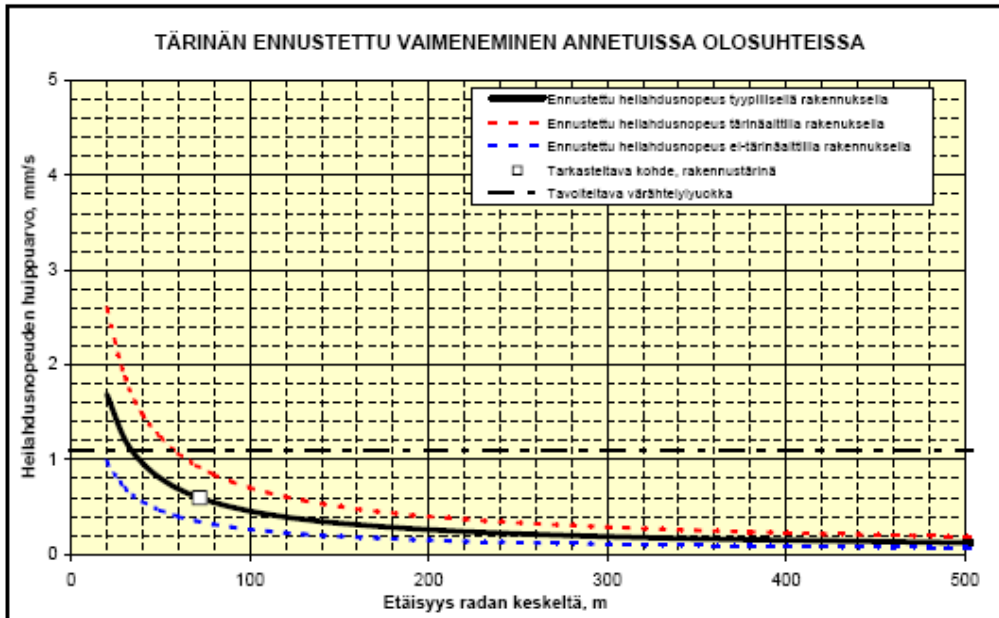
 RATAHALLINTO- KESKUS BANFÖRVALTNINGS- CENTRALEN	RAUTATIELIIKENTEEN YMPÄRISTÖTÄRINÄN LASKENTA					
	Seinäjoki – Oulu radan palvelutason parantaminen Ympäristövaikutusten arviointi					
Kunta	Ylitornio	Kohde	Pientalokohde, Esimerkki	Rataosa	Kemi-Kolari Km	963+831
Konsultti	Sito-yhtiöt Oy	Laskelman laatija	Kaisa Kaaresoja		Pvm	31.3.2007

Lisätietoja	
-------------	--

TÄRINÄÄ JOHTAVA MAALAJI		TÄRKÄSTELTÄVÄN JUNAN JA RADAN TIEDOT																						
Tärinäherkkä koheesiomaa (IjSa, IjSi, Lj)		Junan kokonaispaino, G	tn 2296																					
Normaali koheesiomaa (Sa, saSi, Si)	x	Junan nopeus, s	km/h 67,3																					
Väliomaalajit (karkeaSi, hkSi, siHk, hienoHk)		Raiteiden määrä (merkitse 1 tai 2)	kpl 1																					
Karkearakeinen (Hk, Sr, HkMr, SrMr)																								
<table border="1"> <tr> <td>Suljettu leikkauslujuus</td> <td>Painokairausvastus</td> </tr> <tr> <td><10 kPa</td> <td><10 pk/m</td> </tr> <tr> <td>10...25 kPa</td> <td>10...30 pk/m</td> </tr> <tr> <td>25...50 kPa</td> <td>30...50 pk/m</td> </tr> <tr> <td>> 50 kPa</td> <td>50...80 pk/m</td> </tr> <tr> <td></td> <td>>80 pk/m</td> </tr> </table>		Suljettu leikkauslujuus	Painokairausvastus	<10 kPa	<10 pk/m	10...25 kPa	10...30 pk/m	25...50 kPa	30...50 pk/m	> 50 kPa	50...80 pk/m		>80 pk/m	<table border="1"> <tr> <td>Vertailuheilahdusnopeus, v_0</td> <td>mm/s</td> <td>0,99</td> </tr> <tr> <td>NopeusekspONENTTI, A</td> <td>-</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>EtäisyysEKSPONENTTI, B</td> <td>-</td> <td>0,81</td> </tr> </table>		Vertailuheilahdusnopeus, v_0	mm/s	0,99	NopeusekspONENTTI, A	-	0,93	EtäisyysEKSPONENTTI, B	-	0,81
Suljettu leikkauslujuus	Painokairausvastus																							
<10 kPa	<10 pk/m																							
10...25 kPa	10...30 pk/m																							
25...50 kPa	30...50 pk/m																							
> 50 kPa	50...80 pk/m																							
	>80 pk/m																							
Vertailuheilahdusnopeus, v_0	mm/s	0,99																						
NopeusekspONENTTI, A	-	0,93																						
EtäisyysEKSPONENTTI, B	-	0,81																						
Tärinää johtavan maakerroksen kokonaispaksuus radan ja tark.kohteen välillä, m		<table border="1"> <tr> <td>SUOSITUSARVOISTA POIKKEAVAT PARAMETRIT</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vertailuheilahdusnopeus, v_0</td> <td>mm/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NopeusekspONENTTI, A</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EtäisyysEKSPONENTTI, B</td> <td>-</td> <td></td> </tr> </table>		SUOSITUSARVOISTA POIKKEAVAT PARAMETRIT			Vertailuheilahdusnopeus, v_0	mm/s		NopeusekspONENTTI, A	-		EtäisyysEKSPONENTTI, B	-										
SUOSITUSARVOISTA POIKKEAVAT PARAMETRIT																								
Vertailuheilahdusnopeus, v_0	mm/s																							
NopeusekspONENTTI, A	-																							
EtäisyysEKSPONENTTI, B	-																							

TÄRKÄSTELTÄVÄ RAKENNUS		LASKENTAKERTOIMET TÄRKÄSTELUKOhteessa	
Kohteen etäisyys radan keskeltä, m	72	Etäisyyskerroin	$k_D = 0,28$
Lisätietoja kohteesta		Junan nopeudesta johtuva kerroin	$k_S = 0,96$
		Junan painosta johtuva kerroin	$k_G = 1,15$
		Radan kunnosta johtuva kerroin	$k_R = 1,00$
TAVOITELTAVA TÄRINÄLUOKKA			
Värähtelyluokka (ks. VTT 2278, 2004)	D		

ENNUSTEARVOT TÄRKÄSTELUKOhteessa		ETÄISYYS RADASTA JOLLA TAVOITE TÄYTYY	
Heilahdusnopeuden huippuarvo, mm/s		Tavoiteltava värähtelyluokka	D
Ei-tärinäalttiissa rakennuksessa	0,34	Ei-tärinäalttiissa rakennuksessa	m 17
Tyypillisessä rakennuksessa	0,60	Tyypillisessä rakennuksessa	m 34
Tärinäalttiissa rakennuksessa	0,92	Tärinäalttiissa rakennuksessa	m 58





Event Report



Date/Time Vert at 18:00:04 February 8, 2008
 Trigger Source Geo: 0.200 mm/s
 Range Geo :31.7 mm/s
 Record Time 90.0 sec at 1024 sps
 Job Number: 122

Serial Number BE8861 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.1 Volts
 Calibration May 9, 2003 by Instantel Inc.
 File Name J861BDJG.O40

Notes

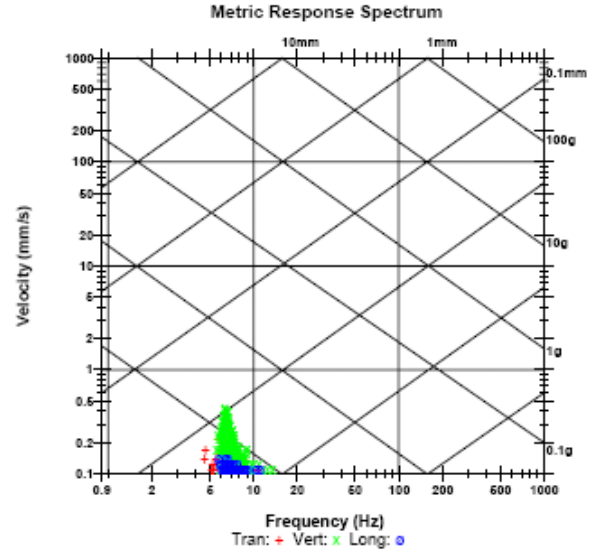
Location:
 Client: RATAHALLINTOKESKUS
 User Name: GEOBOTNIA OY
 General: JUNATARINA

Extended Notes

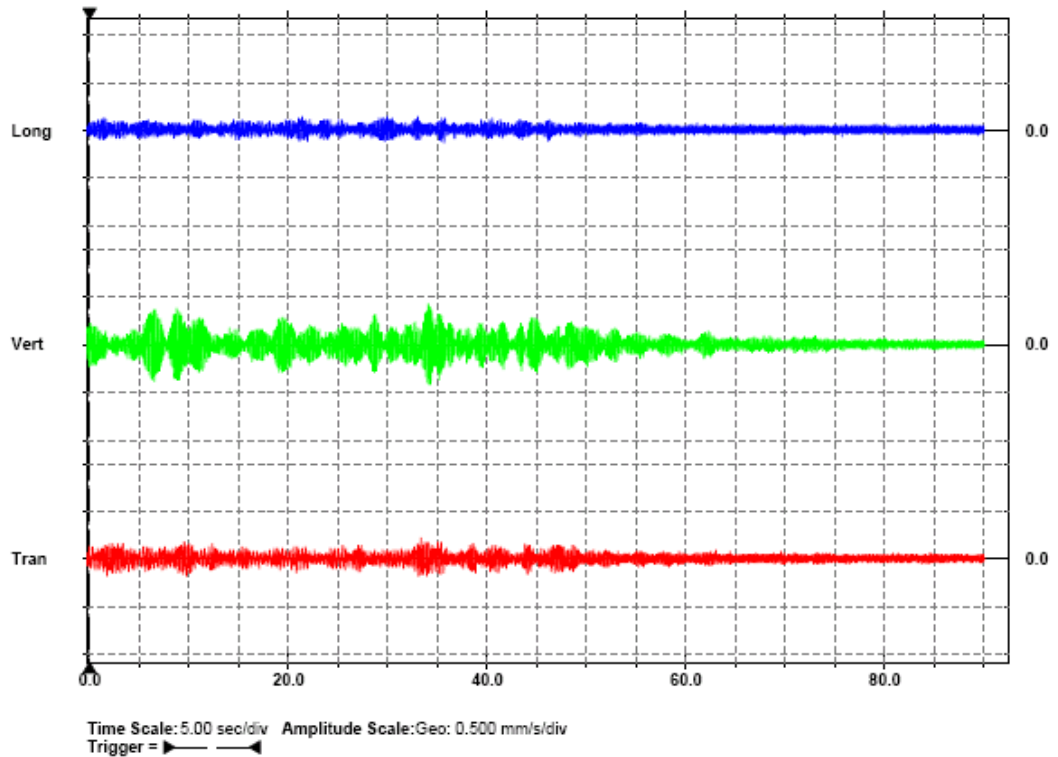
Perustus

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.222	0.429	0.143	mm/s
ZC Freq	5.7	6.3	6.6	Hz
Time (Rel. to Trig)	33.339	34.093	21.392	sec
Peak Acceleration	0.00829	0.00663	0.00629	g
Peak Displacement	0.00550	0.0108	0.00387	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 0.444 mm/s at 34.093 sec





Event Report



Date/Time Long at 18:00:18 February 8, 2006
 Trigger Source Geo: 0.300 mm/s
 Range Geo :31.7 mm/s
 Record Time 90.0 sec at 1024 sps
 Job Number: 122

Serial Number BE8860 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.2 Volts
 Calibration May 9, 2003 by Instantel Inc.
 File Name J860B0JG.O10

Notes

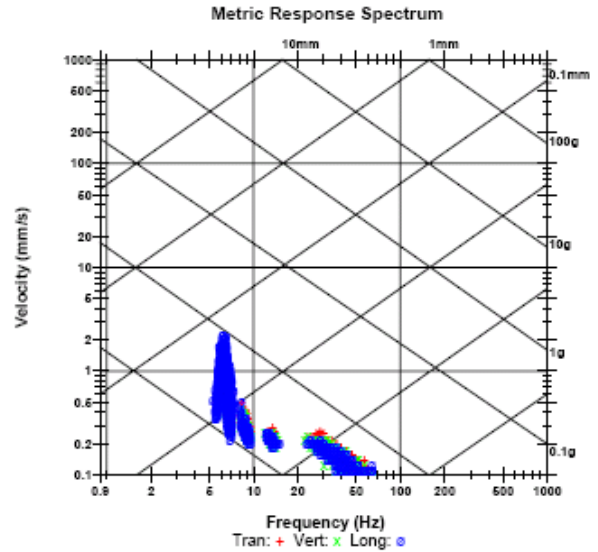
Location:
 Client: RATAHALLINTOKESKUS
 User Name: GEOBOTNIA OY
 General: JUNATARINA

Extended Notes

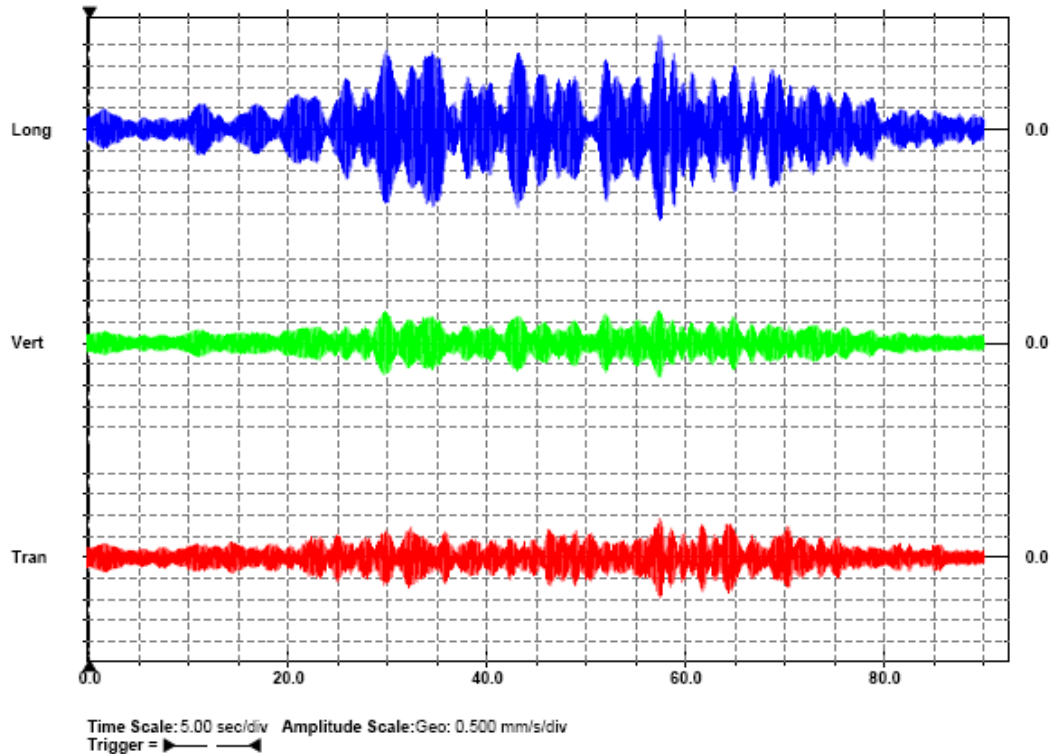
2 krs

Post Event Notes

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.952	0.794	2.22	mm/s
ZC Freq	6.2	6.0	6.2	Hz
Time (Rel. to Trig)	57.435	57.333	57.325	sec
Peak Acceleration	0.00829	0.00829	0.0133	g
Peak Displacement	0.0223	0.0181	0.0544	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 2.33 mm/s at 57.325 sec



Yhteydenotto tärinähaitasta, ominaisuustiedot (esimerkkejä) ja tietojen kuvaukset

ETUNIMI	SUKUNIMI	KATUOS	POSTINRO	POSTIOS	KUNTA
Matti	Möttönen	Tärinäkatu 1A2	12345	Helsinki	Helsinki

DIAARINRO	VIR_PVM	VAA_TYYPPI	KORV_MAKS	KAS_VAIHE	TOIM_LAATU
123/456/07	1.2.2003	1	x	1	4

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Luokitus
ETUNIMI	Etunimi	Vaatimuksen tehneen henkilön etunimi / - etunimet.	
SUKUNIMI	Sukunimi	Vaatimuksen tehneen henkilön sukunimi / - nimet.	
KATUOS	Katuosoite	Tärinäkohteen katuosoite ja – numero.	
POSTINRO	Postinumero	Tärinäkohteen postinumero.	
POSTIOS	Postiosoite	Tärinäkohteen postiosoite.	
KUNTA	Kunnan nimi	Missä kunnassa tärinäkohde sijaitsee.	
DIAARINRO	Diaarinumero / tunnistenumero	Diaarinumero tarkoittaa vaatimuksen tunnistenumeroa. RHK:een tulleet vaatimukset numeroidaan diaariluetteloon. Ilmoitetaan muodossa 123/456/07	tyhjä = diaarinumero ei ole tiedossa

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Luokitus
VIR_PVM	Vireilletulopäivämäärä	Vireilletulopäivämäärä tarkoittaa päivämäärää, jolloin vaatimus kirjataan diaariin. Ilmoitetaan muodossa pp.kk.vvvv.	0 = päivämäärä ei ole tiedossa
VAA_TYYPPI	Vaativustyyppi	Onko vaatimuksessa kyse vahingonkorvausvaatimuksesta vai onko kyse toimenpidevaatimuksesta vai molemmista.	0. Vaativustyyppi ei ole tiedossa 1. Toimenpidevaatimus 2. Vahingonkorvausvaatimus 3. Toimenpide- sekä vahingonkorvausvaatimus
KORV_MAKS	Korvaus maksettu	Onko vaatimuksen tekijälle maksettu korvaus.	
KAS_VAIHE	Käsittelyn vaihe	Missä vaiheessa vaatimus on menossa.	0. Käsittelyvaihe ei ole tiedossa 1. Vireillä 2. Päätynyt
TOIM_LAATU	Toimenpiteen laatu	Mitä toimenpiteitä vaatimuksen johdosta on tehty.	0. Toimenpiteen laatu ei ole tiedossa 1. Vaativalta pyydetty lisäselvityksiä 2. Kohteessa tutkimus käynnissä 3. Tärinävaimennus 4. Junan nopeuden alennus

Katselmuksen ominaisuustiedot (esimerkkejä) ja tietojen kuvaukset

KAYNYT	PVM	ORGANISAAT	KATUOS	KATUNRO	HUON_NRO	POSTINRO
Timo Tarkastaja	2.3.2004	VR	Tärinäkatu	1	A2	12345

POSTIOS	KUNTA	RATAKM	RATAETAI	MAAPERÄ	MAASYVYYS	RAKUUOSI
Helsinki	Helsinki	0123+0456	70	2	7	1950

PERUSTAPA	KERROSLKM	KUNTO	VAURIOT	DIAARINRO	KATSNIMI
1	2	2	x	123/456/07	Rakennuskatselmus, Tärinäkatu 1 A 2, Helsinki

X_POINT	Y_POINT
1234567,890	7654321,987

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
KAYNYT	Käynyt paikalla	Henkilön etu- ja sukunimi, joka on käynyt tärinän aiheuttaman häiriön takia tekemässä paikan päällä katselmuksen.		
PVM	Päivämäärä	Päivämäärä / ajankohta, jolloin katselmus on tehty. Ilmoitetaan muodossa pv.kk.vvvv.		
ORGANISAAT	Organisaatio	Katselmuksen suorittaneen henkilön edustama organisaatio.		tyhjä = organisaatio ei ole tiedossa
KATUOS	Katuosoite	Osoitteeseen liittyvä kadun nimi, josta katselmus on tehty.		
KATUNRO	Katunumero	Osoitteeseen liittyvä kadun numero, josta katselmus on tehty.		
HUON_NRO	Huoneistonumero	Osoitteeseen liittyvä huoneistonumero, josta katselmus on tehty.		tyhjä = huoneistonumeroa ei ole
POSTINRO	Postinumero	Osoitteeseen liittyvä postinumero, josta katselmus on tehty.		

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
KUNTA	Kunnan nimi	Kunnan nimi, jossa katselmus on tehty.		
RATAKM	Ratakilometri	Ratakilometri tarkoittaa radan kilometripaalia katselmuksen kohteena olevan rakennuksen kohdalla. Ilmoitetaan muodossa 1234+5678.		tyhjä = tietoa ei löydy raportista
RATAETAI	Rataetäisyys	Katselmuksen kohteen etäisyys radasta.	m	0 = tietoa ei löydy raportista
MAAPERÄ	Maaperätieto	Maaperätieto tarkoittaa katselmuksen kohteena olevan rakennuksen alla olevan hallitsevan maaperän laatua tai maaperän ylimmän kerroksen laatua.		<p>0. Maaperätietoa ei löydy raportista</p> <p>1. Tärinäherkkä koheesiomaa – liejuinen savi, liejuinen siltti, lieju</p> <p>2. Normaali koheesiomaa – savi, savisiltti, siltti</p> <p>3. Välimaalajit – karkea siltti, hiekkasiltti, silttihiekka, hieno hiekka</p> <p>4. Karkearakeinen maa - hiekka, sora, hiekkamoreeni, soramoreeni</p> <p>5. Kallio</p>

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
MAASYVYYS	Maakerroksen paksuus	Maakerroksen paksuus tarkoittaa katselmuksen kohteena olevan rakennuksen alla olevan hallitsevan maaperän paksuutta tai ylimmän kerroksen keskimääräistä paksuutta.		0 = tietoa ei löydy raportista
RAKVUOSI	Rakennusvuosi	Katselmuksen kohteena olevan rakennuksen rakennusvuosi.		0 = tietoa ei löydy raportista
PERUSTAPA	Perustamistapa	Katselmuksen kohteena olevan rakennuksen perustamistapa.		0. Tietoa ei löydy raportista 1. Maanvarainen 2. Paaluperustus
KERROSLKM	Kerroslukumäärä	Katselmuksen kohteena olevan rakennuksen kerroslukumäärä.		0 = tietoa ei löydy raportista
KUNTO	Rakennuksen kunto	Katselmuksen kohteena olevan rakennuksen silmämääräisesti arvioitu kunto.		1. Huono 2. Välttävä 3. Hyvä 4. Erinomainen

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
VAURIOT	Rakennuksen vauriot	Katselmuksen kohteena olevan rakennuksen vauriot, jotka oletetaan syntyneen tärinän seurauksena.		x = vaurioita havaittavissa tyhjä = ei vaurioita
DIAARINRO	Diaarinumero / tunnistenumero	Diaarinumero tarkoittaa vaatimuksen tunnistenumeroa. RHK:een tulleet vaatimukset numeroidaan diaariluetteloon. Ilmoitetaan muodossa 123/456/07.		tyhjä = diaarinumero ei ole tiedossa
KATSNIMI	Katselmuksen nimi	Katselmuksen kannessa oleva raportin nimi.		
X_POINT	X-koordinaatti	Katselmuksen kohteen x-koordinaatti (KKJ).		
Y_POINT	Y-koordinaatti	Katselmuksen kohteen y-koordinaatti (KKJ).		

Mittausten ominaisuustiedot (esimerkkejä) ja tietojen kuvaukset

KATUOS	KATUNRO	HUON_NRO	POSTINRO	POSTIOS	KUNTA	RATAKM
Tärinäkatu	1	A2	12345	Helsinki	Helsinki	0123+0456

RATAETAI	JUNAPAINO	AKSPAINO	JUNAPIT	MAAPERÄ	MAASYVYYS	Vmax_vert
70	3255	20,3	607	2	7	1,97

Vmax_long	Vmax_tran	Vres	VTTLUOKRAK	TAAJUUS	Vw_95	VTTLUOKIHM
0,54	0,83	2,63	H	a) 8,3	0,35	C

VTTNMIKKAAN	DIAARINRO	MITTAUSPVM	RAP_TEKIJA	RAPNIMI	X_POINT	Y_POINT
x	123/456/07	3.4.2005	Geomatti Oy	Tärinän mittaus Tärinäkadulla. Työnro1234	1234567,890	7654321,987

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
KATUOS	Katuosoite	Mitatun kohteen osoitteeseen liittyvä kadun nimi.		
KATUNRO	Katunumero	Mitatun kohteen osoitteeseen liittyvä kadun numero.		
HUON_NRO	Huoneistonumero	Mitatun kohteen osoitteeseen liittyvä huoneiston numero.		tyhjä = huoneistonumeroa ei ole
POSTINRO	Postinumero	Mitatun kohteen osoitteeseen liittyvä postinumero.		
POSTIOS	Postiosoite	Mitatun kohteen osoitteeseen liittyvä postiosoite.		
KUNTA	Kunnan nimi	Missä kunnassa mitattu kohde sijaitsee.		
RATAKM	Ratakilometri	Ratakilometri tarkoittaa radan kilometripaalua mitatun kohteen kohdalla. Ilmoitetaan muodossa 1234+5678.		tyhjä = tietoa ei löydy raportista

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
RATAETAI	Rataetäisyys	Mitatun kohteen etäisyys radasta.	m	0 = tietoa ei löydy raportista
JUNAPAINO	Junan kokonaispaino	Junan kokonaispaino tarkoittaa mittauksissa todetun suurimman tärinän aiheuttaneen junan kokonaispainoa.	tn	0 = tietoa ei löydy raportista
AKSPAINO	Junan akselipaino	Junan akselipaino tarkoittaa mittauksissa todetun suurimman tärinän aiheuttaneen junan akselipainoa.	tn	0 = tietoa ei löydy raportista
JUNANPIT	Junan kokonaispituus	Junan kokonaispituus tarkoittaa mittauksissa todetun suurimman tärinän aiheuttaneen junan pituutta.	m	0 = tietoa ei löydy raportista
MAAPERÄ	Maaperätieto	Maaperätieto tarkoittaa mitatun kohteen alla olevan hallitsevan maaperän laatua tai maaperän ylimmän kerroksen laatua.		0. Tietoa ei löydy raportista 1. Tärinäherkkä koheesiomaa – liejuinen savi, liejuinen siltti, lieju 2. Normaali koheesiomaa - savi, savisiltti, siltti 3. Välimaalajit - karkea siltti, hiekkasiltti, silttihiekka, hieno hiekka 4. Karkearakeinen maa - hiekka, sora, hiekkamoreeni, soramoreeni 5. Kallio

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
MAASYVYYS	Maakerroksen paksuus	Maakerroksen paksuus tarkoittaa mitatun kohteen alla olevan hallitsevan maaperän paksuutta tai ylimmän kerroksen keskimääräistä paksuutta mittauksen kohdalla.	m	0 = tietoa ei löydy raportista
Vmax_vert	Pystysuuntainen heilahdusnopeuden maksimiarvo (huippuarvo)	Koko mittausjakson aikana mitattu heilahdusnopeuden pystykomponentin maksimiarvo rakennuksen perustuksesta mitattuna.	mm/s	0 = tietoa ei löydy raportista
Vmax_long	Radan suuntainen heilahdusnopeuden maksimiarvo (huippuarvo)	Koko mittausjakson aikana mitattu heilahdusnopeuden radan suuntainen vaakakomponentti rakennuksen perustuksesta mitattuna.	mm/s	0 = tietoa ei löydy raportista
Vmax_tran	Rataa vastaan kohtisuoraan olevan heilahdusnopeuden maksimiarvo (huippuarvo)	Koko mittausjakson aikana mitattu heilahdusnopeuden rataa vastaan kohtisuora vaakakomponentti rakennuksen perustuksesta mitattuna.	mm/s	0 = tietoa ei löydy raportista

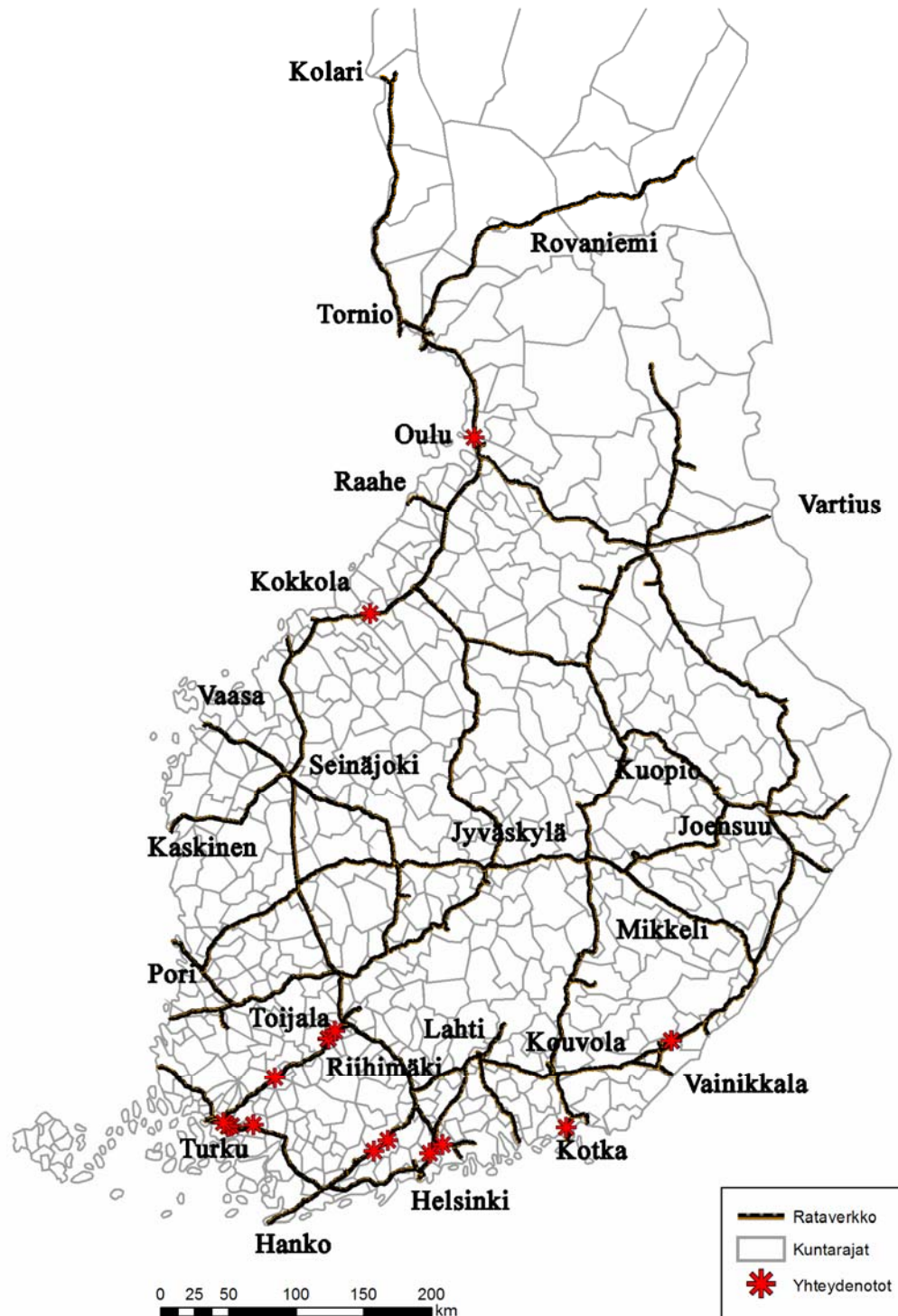
Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
Vres	Heilahdusnopeuden resultantti	Resultoiva heilahdusnopeus, kolmen suunnan komponenttien vektorisumma.	mm/s	0 = tietoa ei löydy raportista
VTTLUOKRAK	VTT:n luokitus (2004) rakennusten vaurioitumisriskin kannalta	VTT:n suositus värähtelyluokitukselta rakennusten vaurioitumisriskin kannalta. Luokat ovat V, H ja E. Luokituksen perusteena on resultantin arvo rakennuksen perustuksesta mitattuna.		<p>0 = tietoa ei löydy raportista V = Vauriot mahdollisia. Rautatieliikenne aiheuttaa voimakasta tai selvästi havaittavaa tärinää, joka aiheuttaa vaurioitumisvaaran rakennuksille ja rakenteille. Kohonnut tärinäalittiuden alue, jolla tärinän heilahdusnopeuden resultantti voi rakennuksen perustuksessa ylittää 3 mm/s.</p> <p>H = Haitat mahdollisia. Rautatieliikenne aiheuttaa selvästi tai lievästi havaittavaa tärinää, jonka aiheuttama vaurioitumisriski rakennuksille tai rakenteille on epätodennäköinen. Vähäisen tärinäalittiuden alue, jolla tärinän heilahdusnopeuden resultantti rakennuksen perustuksissa on 1- 3 mm/s.</p>

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
				E = Haitat epätodennäköisiä. Rautatieliikenteen aiheuttamaa tärinää ei havaita tai se havaitaan hyvin lievänä. Vaurioiden syntyminen rakennuksille tai rakenteille on erittäin epätodennäköinen. Tärinän heilahdusnopeuden resultantti rakennuksen perustuksessa on vähemmän kuin 1 mm/s.
TAAJUUS	Tärinän taajuus	Mittausten perusteella analysoitu tärinän suurinta heilahdusnopeutta vastaava taajuus tai koko mittausjakson taajuusalue.	Hz	a) Suurimman heilahdusnopeuden aiheuttama taajuus b) Taajuusalue
Vw_95	Heilahdusnopeuden taajuuspainotettu tehollisarvo	Painotetun värähtelyn tilastollinen maksimi. = värähtelyn tunnusluku.	mm/s	0 = tietoa ei löydy raportista

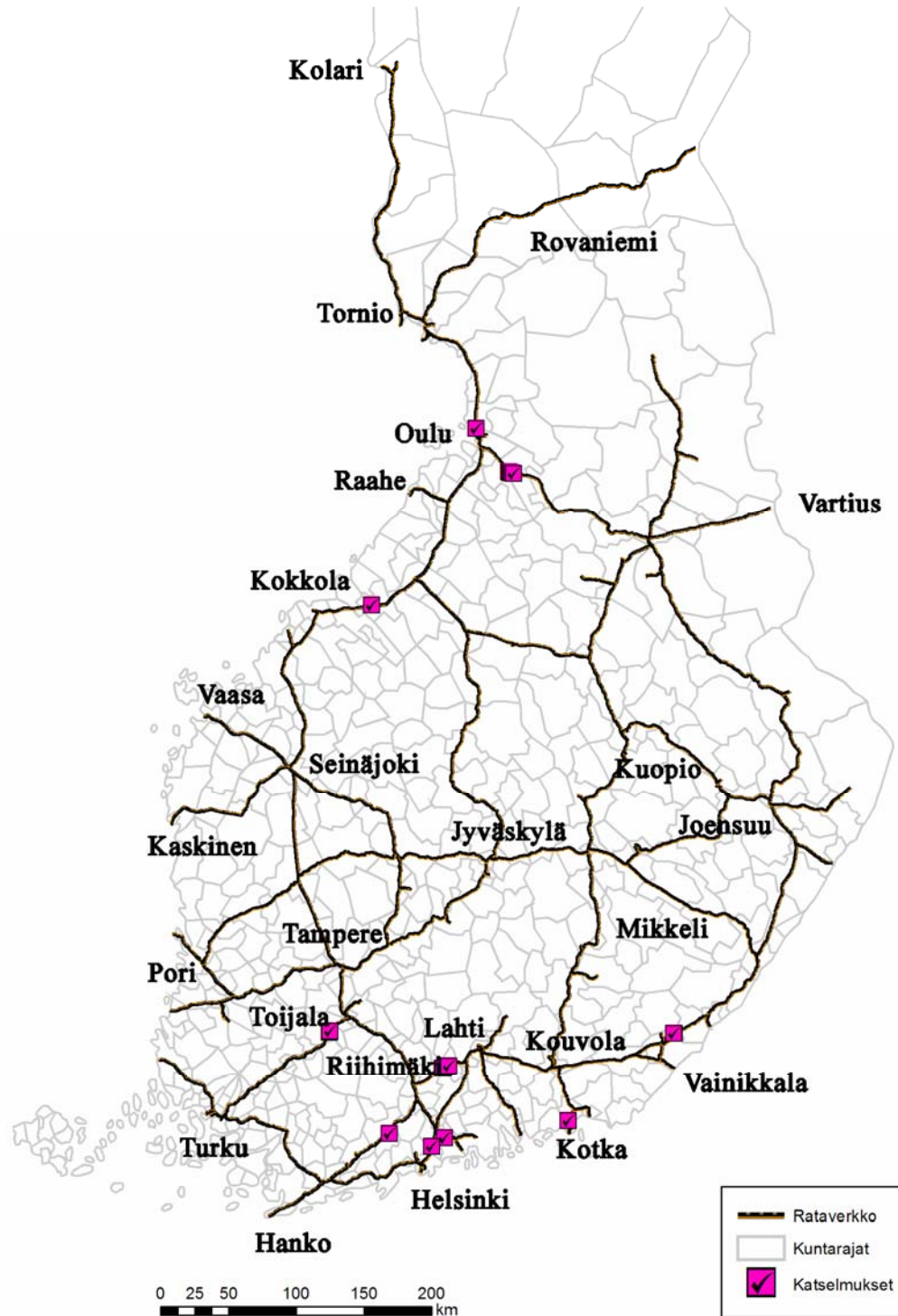
Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
VTTLUOKIHM	VTT:n luokitus (2004) ihmisten asumisviihtyvyyden kannalta	VTT:n suositus värähtelyluokitukselta ihmisen viihtyvyyden kannalta. Luokat ovat A, B, C ja D. Luokituksen perusteena on värähtelyn tunnusluku.		<p>Tyhjä = tietoa ei löydy raportista</p> <p>A = Hyvät asuinolosuhteet. Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyitä. Värähtelyn tunnusluku on pienempi tai yhtäsuuri kuin 0,1 mm/s.</p> <p>B = Suhteellisen hyvät olosuhteet. Ihmiset voivat havaita värähtelyitä, mutta ne eivät ole häiritseviä. Värähtelyn tunnusluku on pienempi tai yhtäsuuri kuin 0,15 mm/s.</p> <p>C = Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöstä. Värähtelyn tunnusluku on pienempi tai yhtäsuuri kuin 0,30 mm/s.</p> <p>D = Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöstä. Värähtelyn tunnusluku on pienempi tai yhtäsuuri kuin 0,60 mm/s.</p>

Lyhenne	Nimi	Kuvaus	Yksikkö	Luokitus
VTTNMIKAAAN	VTT:n suosituksen mukaisesti	Mittaukset suoritettu edellä mainittujen VTT:n suosituksen mukaisesti.		X = kyllä tyhjä = ei
DIAARINUMERO	Diaarinumero / tunnistenumero	Diaarinumero tarkoittaa vaatimuksen tunnistenumeroa. RHK:een tulleet vaatimukset numeroidaan diaariluetteloon. Ilmoitetaan muodossa 123/456/07.		0 = diaarinumero ei ole tiedossa
MITTAUSPVM	Mittauspäivämäärä	Mittauspäivämäärä tarkoittaa sitä päivämäärää, jolloin heilahdusnopeuden maksimiarvo on mitattu rakennuksen perustuksessa. Ilmoitetaan muodossa pv.kk.vvvv.		
RAP_TEKIJÄ	Mittausraportin tekijä	Mittausraportin tekijä tarkoittaa yritystä, joka on suorittanut mittauksen.		
RAPNIMI	Raportin nimi	Mittausraportin kannessa oleva raportin nimi ja mahdollinen työnnumero.		
X_POINT	X-koordinaatti	Mittauksen kohteen x-koordinaatti (KKJ).		
Y_POINT	Y-koordinaatti	Mittauksen kohteen y-koordinaatti (KKJ).		

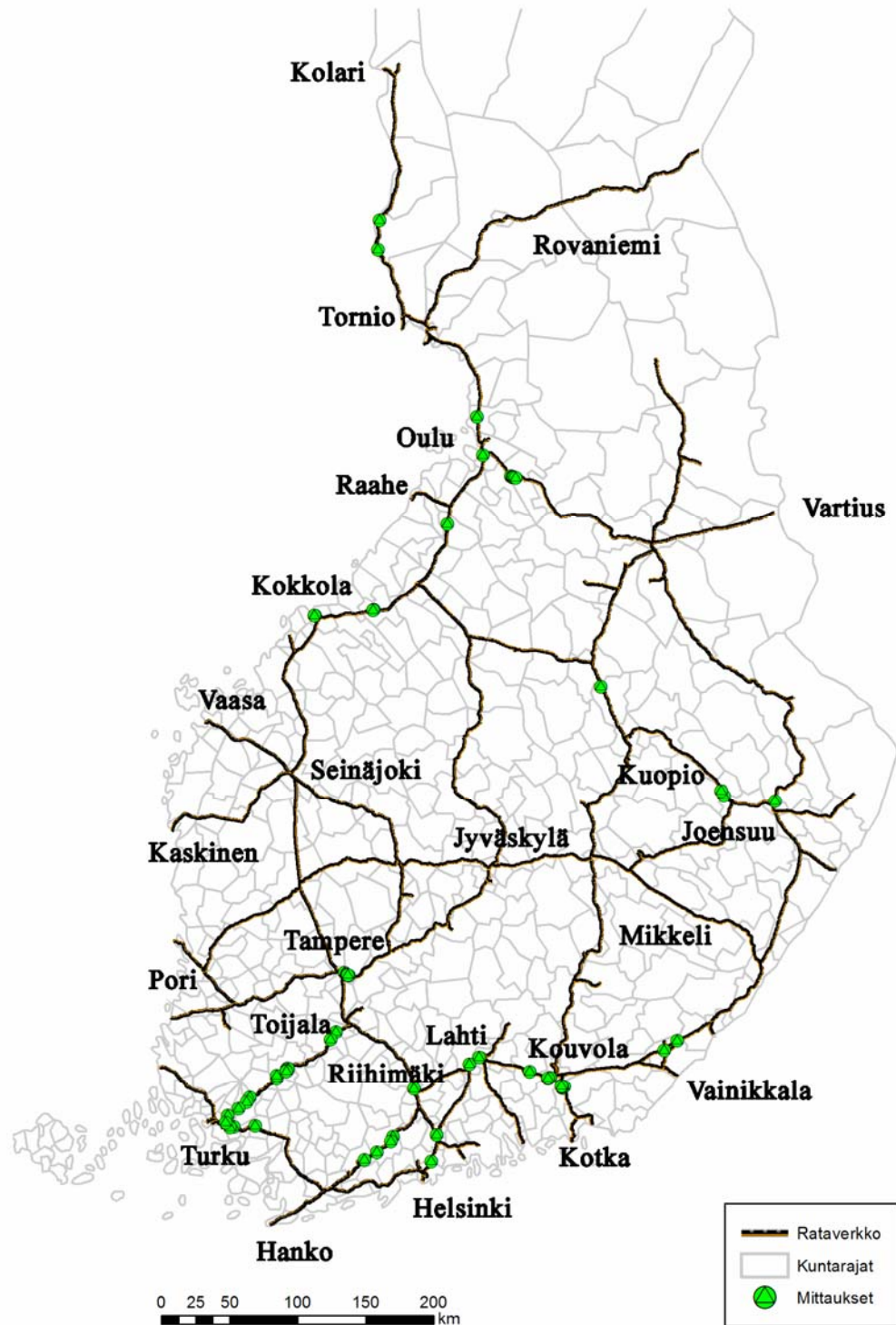
Tärinäkohteet; yhteydenotot



Tärinäkohteet; katselmukset



Tärinäkohteet; mittaukset



Kaikki tärinäkohteet

