



Asko Talja

Ohjeita liikennetärinän arviointiin

Ohjeita liikennetärinän arviointiin

Asko Talja

ISBN 978-951-38-7685-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2011

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Avainsanat traffic, vibration, traffic-induced vibration, land use, limit value, vibration design, magnification, resonance, frame, floor

Tiivistelmä

Liikenteen aiheuttama rakennuksen tärinä on liikennemelun kaltainen haitta, ja se voi häiritä asumista sekä teiden että ratojen läheisyydessä. Liikennetärinän vaikutusten arviointi on nousemassa kaavoituksessa lähes yhtä tärkeäksi tekijäksi kuin liikennemelun vaikutusten arviointi on ollut tähän asti. Siksi maankäytön suunnittelussa on noussut esiin tarve kehittää ja yhdenmukaistaa liikennetärinän arviointia.

Julkaisussa ohjeistetaan, miten maaperän värähtely tulisi mitata, mitä tunnuslukuja mittaustuloksista tulisi määrittää, miten tulokset tulisi esittää ja miten mittaustuloksia voidaan hyödyntää sisätilojen tärinän arvioimisessa ja maankäytön suunnittelussa. Asuintiloihin siirtyvän tärinän arvioinnin lähtökohtana on rakennuspaikalta kolmiaksaalisesti mitattu maaperän värähtely ja sen taajuussisältö. Sen avulla arvioidaan perustukseen siirtyvä värähtely, jonka avulla arvioidaan rungon ja lattioiden värähtely.

Rungon ja lattioiden värähtelyn arviointi perustuu kahteen eri lähestymistapaan, joista toinen tarkastelee värähtelyn tasaista voimistumista ja toinen värähtelyn voimistumista rakennuksen rungon tai lattian resonanssi-ilmiön vuoksi. Menetelmän avulla voidaan rakennuksen korkeus ja lattian jänneväli suunnitella siten, että maaperässä esiintyvää värähtelyä ei voimistu rakennuksessa resonanssi-ilmiön vuoksi. Esitetty yksinkertaistettu arviointimenetelmä on tarkoitettu alustavaan suunnitteluun, jota voidaan tarvittaessa tarkentaa kehittyneillä laskentamenetelmillä.

Asko Talja. Ohjeita liikennetärinän arviointiin [Instructions for assessment of traffic vibrations]. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2569. 35 p. + app. 9 p.

Keywords traffic, vibration, traffic-induced vibration, land use, limit value, vibration design, magnification, resonance, frame, floor

Abstract

Traffic-induced building vibration is an environmental nuisance like traffic-induced noise and it may be felt disturbing close to roads and railways. Because the vibration assessment is playing more and more important role in planning of the land use, there is a strong need to develop and harmonise methods for vibration assessment. Especially the designers participating in the planning of land use need simplified models and tools for dealing with vibration.

The publication gives guidelines for vibration measurements, for analysing the key figures from the measured data and for evaluation the building vibrations. The proposed vibration design of the building is based on triaxial ground vibrations measured on the building site. Thereafter the vibrations of building frame and floors are estimated based on the predicted vibrations of the building foundation.

The vibration design of the frame and floors is based on two approaches; one considers the uniform magnification of the vibration and the other the magnification in the resonance. The approach makes it possible to design the height of the building and the spans of floors so that resonance does not magnify the vibrations. The proposed method for building vibration assessment is meant to provide an approximate estimate for the preliminary design phase. If necessary, it can be adjusted by performing a more detailed vibration study.

Alkusanat

Liikenteen aiheuttama maan tärinä on ympäristömelun kaltainen haitta, joka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa uusia rakennuksia liikenneväylien läheisyyteen tai rakennettaessa uusia väyliä olemassa olevien rakennuksien läheisyyteen. Tämä selvitys tähtää liikennetärinän arvioinnissa tarvittavien mittauskäytäntöjen, tulosten esittämisen ja päätöksentekokäytäntöjen yhtenäistämiseen. Yhtenäistämisen tavoitteena on selkeyttää liikennetärinän arviointia, millä parannetaan tilaajan, tärinän mittaajan ja rakennesuunnittelijan välistä vuorovaikutusta. Jotta rakennustyyppin valintaan ja alueen käyttötarkoitukseen voidaan vaikuttaa riittävän ajoissa, liikennetärinän arviointi tulee tehdä viimeistään asema-kaavaan liittyvän maankäytön suunnittelun yhteydessä.

Raportti liittyy projektiin Liikennetärinän langaton mittaus- ja analysointiympäristö (VibPlat, 2009–2011). Projektissa kehitetään uudenlaista liikennetärinän arviointiin tarkoitettua langatonta mittaus- ja analysointiympäristöä, jonka toteutuksessa tarvitaan tätä ohjeistusta. Projektia on ohjannut pääasiassa sen rahoittajien edustajista koostuva johtoryhmä, johon ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Tom Warras, Tekes
Tuomo Viitala, Liikennevirasto
Jani Kankare, Promethor Oy
Janne Göös, Vibsolas Oy
Anne Määttä, Sito Oy
Jarkko Karttunen, Helsingin kaupunki
Kalevi Salonen, Tampereen kaupunki
Aila Elo, Keravan Kaupunki
Ilkka Holmila, Järvenpään kaupunki
Heikki Kangas, Vantaan kaupunki
Mikko Sallinen, VTT
Ari Saarinen, ympäristöministeriö.

Johtoryhmän puheenjohtajana on toiminut ylitarkastaja Tuomo Viitala Liikennevirastosta. Tutkimuksen vastuullisena johtajana on VTT:ssä toiminut teknologiapäällikkö Mikko Sallinen ja projektipäällikkönä tutkija Jukka Koskinen.

Julkaisun on laatinut erikoistutkija Asko Talja lukuun ottamatta liitteen B kuvia, jotka ovat tutkija Juha Kurkelan tekemiä. Raporttiin on saatu kommentteja johtoryhmän jäseniltä.

Kiitän projektin rahoittajia, johtoryhmän jäseniä ja kaikkia työhön osallistuneita henkilöitä aktiivisuudesta ja hyvästä yhteistyöstä.

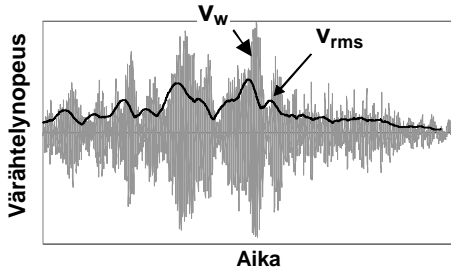
Espoo 20.1.2011

Asko Talja

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Käytetyt termit	8
1. Johdanto	10
1.1 Taustaa	10
1.2 Liikennetärinä ympäristöhaitana	10
1.3 Ohjeiden soveltamisalue	12
2. Liikennetärinän arvioinnin periaate	13
2.1 Arvioinnin tarpeen selvittäminen	13
2.2 Tarkemman arvioinnin periaate.....	14
3. Maaperän värähtelyn mittaaminen.....	17
3.1 Mittausten suoritus.....	17
3.2 Värähtelyn tunnusluvun määrittäminen.....	17
3.3 Värähtelyn taajuussisällön määrittäminen	18
4. Perustuksen värähtelyn arviointi	20
5. Tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio sisätilojen värähtelystä.....	22
6. Resonanssiin perustuva arvio sisätilojen värähtelystä.....	23
6.1 Lattian resonanssi.....	23
6.2 Rungon resonanssi.....	24
6.3 Rakennesuunnittelussa tarvittavien mittaustulosten esittäminen	25
7. Rungon ja lattian värähtelysuunnittelu	27
7.1 Lattian värähtelysuunnittelu.....	27
7.2 Rungon värähtelysuunnittelu	29
8. Tärinän eristäminen.....	32
Lähdeluettelo	35
Liitteet	
Liite A: Kuvaus kaava-alueen tärinämittauksen teettämisestä	
Liite B: Esimerkkejä välipohjien ominaistaajuuksista	

Käytetyt termit

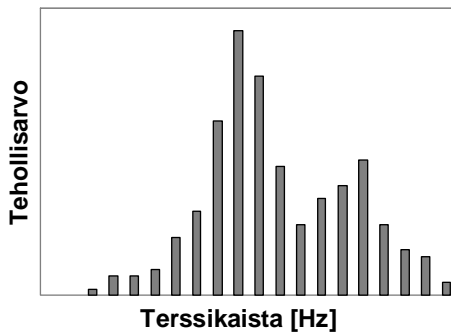


Värähtelyn tehollisarvo v_{rms} [mm/s]

Värähtelysignaalin $v(t)$ tehollisarvo ajanhetkellä t_0 on

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

jossa aikaikkunan pituus τ on 1 sekunti.



Värähtelyn taajuussisältö

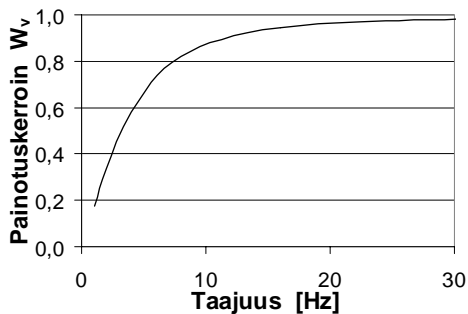
Värähtelyn taajuussisältö (värähtelyspektri) kuvaa värähtelyn taajuussisällön ja esittää signaalin värähtelykomponentit (v_i) 1/3 oktaavikaistoittain (terssikaistoittain). Kun spektri esittää aikaikkunaa $\tau = 1$ s, värähtelyn tehollisarvo voidaan laskea taajuustasossa lausekkeella

$$v_{rms}(t_0) = \sqrt{\sum v_i^2}$$

Terssikastojen keskitaajuus f_c ja yläraja f_2 alueella 1–80 Hz

$$f_c = 10^{n/10}, \quad n = 0 \dots 19$$

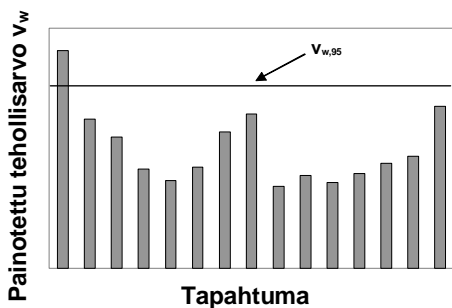
$$f_2 = 10^{(n+0,5)/10}, \quad n = 0 \dots 19$$



Värähtelyn taajuuspainotus

Mitatun signaalin eri värähtelykomponentit tehdään ihmisen herkkyyden suhteen samanarvoisiksi painottamalla värähtelykomponentteja taajuudesta riippuvalla painotuskertoimella. Kuvassa esitetään värähtelynopeuden taajuuspainotus.

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



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

Painotetun värähtelyn v_w tilastollinen maksimi $v_{w,95}$ perustuu niihin 15 yhden viikon aikana mitattuun tapahtumaan, joissa esiintyvät suurimmat painotetun värähtelyn tehollisarvot. Mittausajanjakson tulee edustaa normaalia liikennettä ja väylän kuntoa.

$$v_{w,95} = \bar{v}_w + 1,8 \cdot \sigma$$

jossa \bar{v}_w on mittaustulosten keskiarvo ja σ on keskihajonta.

1. Johdanto

1.1 Taustaa

Liikenteen aiheuttama maan tärinä on ympäristömelun kaltainen haitta, joka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa uusia rakennuksia liikenneväylien läheisyyteen tai rakennettaessa uusia väyliä olemassa olevien rakennuksien läheisyyteen. Liikennetärinän arviointi tulee tehdä viimeistään asemakaavaan liittyvän maankäytön suunnittelun yhteydessä, jotta rakennustyypin valintaan ja alueen käyttötarkoitukseen voidaan vaikuttaa riittävän ajoissa. Tämä julkaisun tavoitteena on liikennetärinän arvioinnissa tarvittavien mittauskäytäntöjen, tulosten esittämisen ja päätöksentekokäytäntöjen yhtenäistäminen. Yhtenäiset tavat selkeyttävät liikennetärinän arviointia, millä parannetaan tilaajan, tärinän mittajaan ja rakennesuunnittelijan välistä vuorovaikutusta.

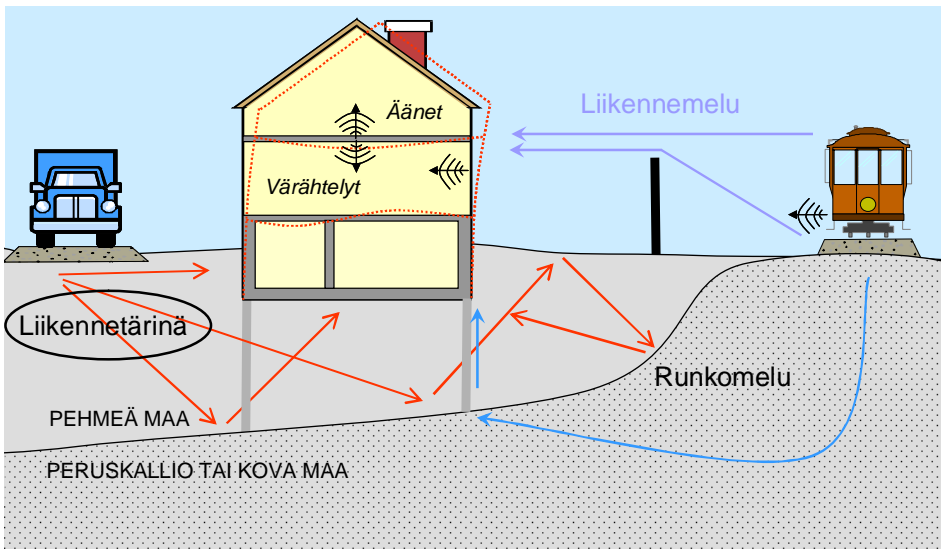
Tärinämittauksista saatujen tulosten yhtenäinen esittäminen mahdollistaa tietokannat, joita voidaan hyödyntää tulosten visualisoinnissa ja asuintiloihin siirtyvän tärinän arvioinnissa. Tulokset voidaan esittää helposti erilaisten karttapohjien ja maaperätietojen kanssa. Tulokset sisältäviä tietokantoja voidaan käyttää myös vanhojen mittaus tulosten tarkasteluun ja empiiriseen tietoon perustuvien arviointimenetelmien kehittämiseen.

1.2 Liikennetärinä ympäristöhaittana

Liikenteen aiheuttama rakennuksen tärinä voi häiritä asukkaita sekä teiden että ratojen läheisyydessä. Usein tärinä syntyy raskaasta liikenteestä ja häiritsee asukkaita erityisesti öisin. Rakennusmaan niukkuus ja tarve vähentää liikenteen aiheuttamia päästöjä lisää painetta rakentaa uusia asuntoja liikenneväylien läheisyyteen tai siirtää liikennettä rakennusten alle. Samaan aikaan elintason nousu ja lisääntyvä laatutietoisuus asettavat korkeampia vaatimuksia asumismukavuudelle.

Suomen rakentamismääräykset edellyttävät, että tärinä ei saa vahingoittaa rakennuksia eikä aiheuttaa kohtuutonta häiriötä asukkaille. Siksi liikennetärinä vaikuttaa myös maankäytön suunnitteluun.

Liikenteen aiheuttama maan värähtely voi olla haitallista siitä aiheutuvan rakennuksen tärinän tai rakennuksen seinäpintojen säteilemän runkoäänen vuoksi. Kumpi ilmiöstä hallitsee, riippuu erityisesti väylän ja rakennuksen välisen alueen maalajista. Matalista taajuuksista (1–80 Hz) aiheutuva rakennuksessa ja kehossa tuntuva tärinä on tyypillinen haitta pehmeillä maa-alueilla. Äänitaajuuksisesta värähtelystä (16–500 Hz) aiheutuva korvin kuultava kumu on taas tyypillinen haitta kovilla maa-alueilla (kuva 1).



Kuva 1. Liikennetärinä on vain yksi liikenteen aiheuttamista värähtelyhaitoista.

Suomessa tiet ja radat sijaitsevat tyypillisesti tasaisilla savikkoalueilla, joita ovat ympäröivät kallioiset mäki-alueet. Näitä vaikeasti rakennettavia pehmeikköalueita ollaan ottamassa yhä enemmän käyttöön. Savimaahan syntyvä matalataajuuksinen värähtely (yleensä 4–10 Hz) leviää tehokkaasti, ja sen suuruutta on laskennallisesti vaikea arvioida. Värähtelyn vaakakomponentti voi olla pystykomponenttia suurempi, ja dominoiva värähtely tapahtuu usein hyvin kapealla taajuuksialueella, jolloin resonanssi-ilmiön vaikutus korostuu rakenteiden värähtelyn arvioinnissa. Tällaisilla savikkoalueilla liikenteen aiheuttamaa maan värähtelyä ei yleensä voida selvittää luotettavasti ilman mittauksia.

1.3 Ohjeiden soveltamisalue

Tässä julkaisussa keskitytään rakennuksessa esiintyvään ihmisen kokemaan tärinään, eivätkä ohjeet siten sovellu runkoäänen arviointiin. Liikenteen aiheuttaman runkomelun arviointia, ohjearvoja ja eristämistä on kuvattu VTT Tiedotteessa 2468 (Talja & Saarinen 2009).

Tässä julkaisussa ohjeistetaan, miten maaperän värähtely tulisi mitata, mitä tunnuslukuja ja tulosteita mitatuista värähtelyistä tulisi määrittää, ja miten mittaus-tuloksia voidaan hyödyntää rakennusten suunnittelussa ja maankäyttöön liitty-vässä päätöksenteossa. Esityksen perusteena on VTT Tiedotteessa 2425 (Talja et al. 2008) esitetty yksinkertaistettu rakennukseen siirtyvän tärinän arviointimene-telmä. Esitetty ohjeistus on pyritty yksinkertamaan niin hyvin, että sitä pystyy käyttämään ilman syvällistä rakenteiden dynamiikan osaamista. Ehdotettu ar-viointimenetelmä ei kuitenkaan estä alan asiantuntijoita käyttämästä yksityis-kohtaisempia värähtelyn siirtymisen arvioimismenetelmiä.

2. Liikennetärinän arvioinnin periaate

2.1 Arvioinnin tarpeen selvittäminen

Asemakaavoituksen yhteydessä tehtävien tärinäselvitysten tarve arvioidaan ta-pauskohtaisesti siten, että arvioinnissa pyritään monipuolisesti huomioimaan eri tekijät, jotka vaikuttavat tärinäriskin suuruuteen. Kokemukseen perustuen lii-kennetärinän on todettu voivan haitata asumista, mikäli rakennus sijaitsee lä-hempänä väylää kuin taulukossa 1 esitetään.

Taulukko 1. Arvio etäisyydestä, jota kauempana tarkempi liikennetärinän tarkastelu ei ole tarpeellinen, kun väylän perustamistapa on maanvarainen.

Etäisyys väylästä	Liikennetyyppi yöaikaan	Pehmein maalaji väylän alla
500 m	Tavarajunaliikenne (3 500 tn, 90 km/h)	Pehmeä maa
200 m	Pikajunaliikenne (140 km/h)	Pehmeä maa
100 m	Metro- ja sähkömoottorijunat (80 km/h)	Pehmeä maa
100 m	Raskas maantieliikenne (100 km/h, sileä)	Pehmeä maa
100 m	Hidastetöyssyt, raskas liikenne (40 km/h)	Pehmeä maa
50 m	Raskas katuliikenne (40 km/h, sileä)	Pehmeä maa
100 m	Tavara- ja pikajunat	Kova maa
15 m	Raskas maantie- ja katuliikenne (ml. töyssyt)	Kova maa

2. Liikennetärinän arvioinnin periaate

Esitettyä turvaetäisyytenä voidaan käyttää puolta taulukossa 1 esitetystä arvoista, mikäli rakennukset eivät ole 2–4-kerroksisia ja lattioiden ominaistaajuus on vähintään 18 Hz. Ominaistaajuuden arviointi esitetään sivulla 27 kohdassa 7.1.

Kauimmaksi liikennetärinän vaikutusalue ulottuu hienorakeisissa, pehmeissä kivinäismaalajeissa (runsaasti vettä sisältävät savet ja siltit) sekä pehmeissä eloperäisissä maalajeissa (turve ja lieju). Vaikutusalue on pienempi kovissa kärkearakenteisissa kivinäismaalajeissa (hiekkaj sora) ja pienin moreenimaalajeissa (siltimoreeni, hiekkamoreeni ja soramoreeni) sekä kalliossa.

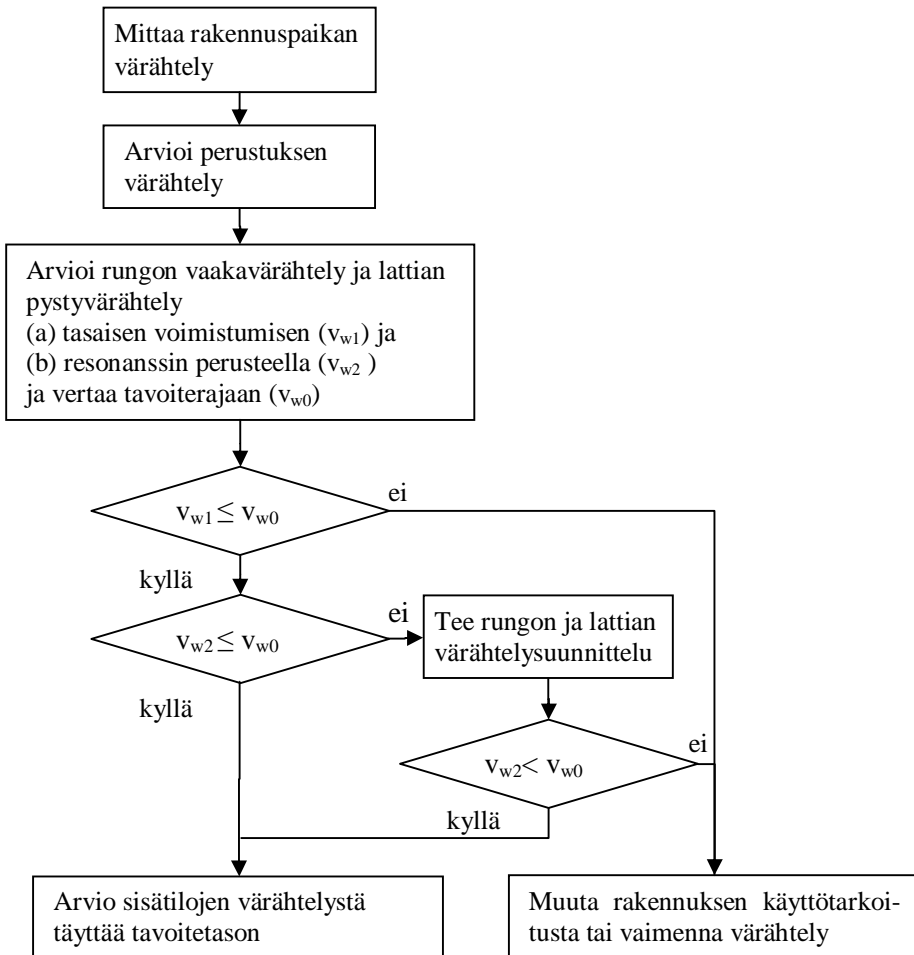
2.2 Tarkemman arvioinnin periaate

Tarkennetun arvioinnin periaate esitetään kuvassa 2. Rakennukseen siirtyvän tärinän arvioinnin lähtökohtana on rakennuspaikalta kolmikomponenttisesti mitattu maaperän värähtely. Kun kustakin maan pinnan värähtelykomponentista tunnetaan värähtelyn suuruus ja sitä vastaava keskimääräinen taajuussisältö, arvioinnissa voidaan ottaa huomioon värähtelyn eritaajuuksisten komponenttien erilainen siirtyminen perustukseen ja edelleen rakennuksen runkoon ja lattioihin.

Arvio rakennuksen rungon ja lattian värähtelystä perustuu perustuksen värähtelyyn, joka taas perustuu mitattuun maan värähtelyyn. Tarkastelu tehdään kahdella eri lähestymistavalla, joista toisessa otetaan huomioon värähtelyn voimistuminen resonanssin vuoksi ja toisessa värähtelyn tasainen voimistuminen koko taajuusalueella. Rungon resonanssitarkastelu perustuu maan vaakavärähtelyyn ja lattian resonanssitarkastelu maan pystyvärähtelyyn.

Mikäli tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio rakennuksen värähtelystä on alle tavoiterajan mutta raja ylittyy rungon tai lattian resonanssitarkastelussa, tehdään tarkempi värähtelysuunnittelu. Siinä rakennuksen korkeus ja lattian jänneväli valitaan siten, että rakenteen ominaistaajuus ei satu maaperän värähtelyn dominoivalle taajuusalueelle.

Suosittelava tavoiteraja värähtelyn enimmäisarvolle rakennuksen sisätiloissa on uusilla asuinalueilla 0,3 mm/s ja vanhoilla asuinalueilla 0,6 mm/s. Tämä VTT:n esittämä suositus enimmäisarvoksi (Talja 2002) on otettu käyttöön myös Liikenneviraston ohjeistuksessa (RATO 2008). Tavoitteen tulee toteutua pystyvärähtelyn osalta rakennuksen kaikissa lattioissa ja vaakavärähtelyn osalta rakennuksen jokaisessa kerroksessa. Mikäli kyse ei ole asuinrakennuksesta ja tilojen käyttötarkoitus on sellainen, että liikenteen ei katsota haittaavan lepoa, tavoiteraja voi olla kaksinkertainen esitettyihin arvoihin nähden.



Kuva 2. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arvioinnin vaiheet.

Mikäli tasaisen voimistumisen perusteella tehty arvio ylittää asuintilojen tavoite-
rajan eikä tarkemmalla värähtelysuunnittelulla päästä tavoitteeseen, pitää varau-
tua tontin käyttötarkoituksen muuttamiseen tai rakennuspaikan värähtelyn vai-
mentamiseen. Vaikka suunnittelussa varauduttaisiinkin jälkikäteen tehtävään
tärinän pienentämiseen ja siitä aiheutuviin kustannuksiin, riskiä ei missään tapauk-
sessa tule ottaa, mikäli arvioitu värähtelyn suuruus on yli kaksinkertainen asetet-
tuun tavoiterajaan nähden, sillä keinot jälkikäteen tehtävään värähtelyn pien-
entämiseen ovat hyvin rajalliset.

2. Liikennetärinän arvioinnin periaate

Kuvassa 2 esitetyn arvioinnin pääkohdat on kuvattu tarkemmin seuraavissa luvuissa. Taustaa arvioinnille on esitetty VTT Tiedotteessa 2425 (Talja et al. 2008).

3. Maaperän värähtelyn mittaaminen

3.1 Mittausten suoritus

Rakennuksen rungon ja lattian värähtelysuunnittelussa käytetään lähtökohtana maaperän värähtelystä määritettyjä vaaka- ja pystyvärähtelyn tunnuslukuja sekä niitä vastaavia värähtelyn taajuussisältöjä. Värähtely mitataan rakennuspaikalta väylää lähinnä olevan julkisivun kohdalta. Jos rakennus on pitkä tai pohjasuhteet vaihtelevat merkittävästi, värähtely tulee mitata rakennusalueen molemmista päistä. Liitteessä A on tehtäväkuvaus suunnitteilla olevan kaava-alueen tä-
rinäselvitystä varten.

Mittaukset tulee suorittaa kolmikomponenttisesti. Värähtelyn mittaussuunnat valitaan siten, että z on pystysuunta, x on väylän suunta ja y on väylän poikittaissuunta. Mittaukset tehdään sulan maan aikaan, ellei erityisesti haluta tutkia roudan vaikutusta. Myös liikenteen ja väylän pintarakenteen kunnon tulee mittausten aikana vastata normaalitilannetta.

Mittausjakso on viikon pituinen, ellei poikkeustapauksessa lyhyemmän tai pidemmän jakson käyttöä voida luotettavasti perustella. Pidemmän jakson perusteena voi olla esimerkiksi erittäin harvoin kulkevat tavarajunat. Rekisteröidyistä tapahtumista tarkastellaan tarkemmin niitä 15:tä tapahtumaa, joissa mitatut värähtelyt ovat suurimmat. Erikseen haluttaessa voidaan nämä 15 tapahtumaa valita kalustotyypeittäin (esim. tavarajunat lastattuna, tavarajunat tyhjinä, pikajunat, IC-junat, Pendolinot, lähijunat, kuorma-autot, linja-autot, pakettiautot).

3.2 Värähtelyn tunnusluvun määrittäminen

Kolmikomponenttisesti mitatun värähtelyn suunnat tarkastellaan erillisinä. Tarkasteltava taajuusalue on 1–80 Hz. Mitatun värähtelyn suuruus ilmoitetaan taajuuspainotetun nopeussignaalin suurimman hetkittäisen tehollisarvon (v_w , mm/s)

3. Maaperän värähtelyn mittaaminen

avulla. Taajuuspainotus värähtelynopeudelle esitetään lähteessä (NS 2005) ja kiihtyvyydelle lähteessä (ISO 2005, W_m -painotus). Jos tarkastelussa käytetään taajuuspainotettua kiihtyvyyssignaalin tehollisarvoa (a_w , mm/s²), tulokset muunnetaan nopeudeksi lausekkeella

$$v_w = a_w / 35,7 \quad (1)$$

Valituista 15 tapahtumasta määritetään värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$, joka kuvaa yhden viikon aikana esiintyvää värähtelyn tilastollista maksimiarvoa. Arvo määritetään 15:n suurimmat värähtelyt sisältävän tapahtuman avulla lausekkeesta.

$$v_{w,95} = \bar{v}_w + 1,8 \cdot \sigma \quad (2)$$

jossa \bar{v}_w on mitattujen tehollisarvojen v_w keskiarvo ja σ on keskihajonta.

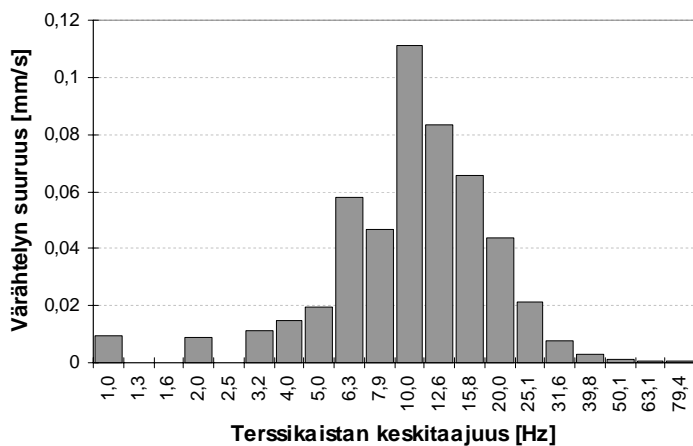
3.3 Värähtelyn taajuussisällön määrittäminen

Mitatun värähtelyn taajuussisältö (värähtelyspektri) tarkastellaan 1/3-oktaavikaistoittain (terssikaistoittain) taajuusalueella 1–80 Hz. Tarkasteltavana ovat ne 15 ajanhetkeä, jotka ovat värähtelyn tunnusluvun $v_{w,95}$ perusteena.

Laskennassa käytetään apuna mitattuun tehollisarvoon v_w suhteutettuja spektrejä, jossa spektrin terssikaistojen arvot on jaettu koko spektrin tehollisarvolla. Tuloksena esitettävä spektri on näiden 15 värähtelyspektrin keskiarvo kerrottuna värähtelyn tunnusluvulla $v_{w,95}$ (kuva 3). Lopputuloksena esitettävän värähtelyspektrin tulee toteuttaa ehto

$$v_{w,95} = \sqrt{\sum v_{w,i}^2} \quad (3)$$

3. Maaperän värähtelyn mittaaminen



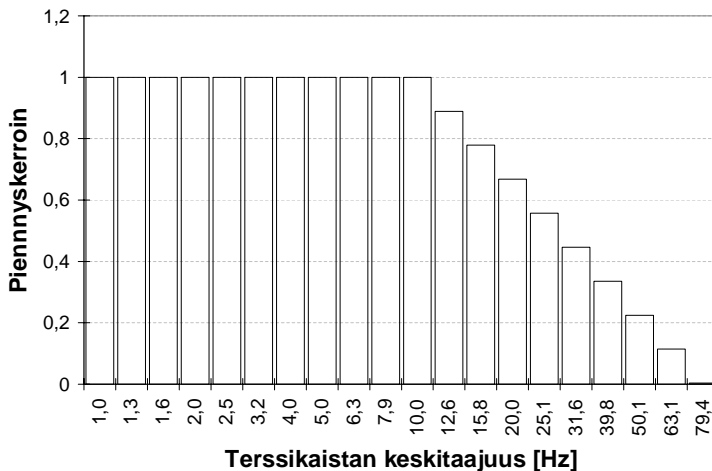
Kuva 3. Esimerkki maasta mitatusta värähtelyspektristä, jota vastaava värähtelyn tunnusluku $v_{w,95} = 0,18$ mm/s.

4. Perustuksen värähtelyn arviointi

Korkeataajuiset värähtelyt siirtyvät perustukseen huonommin kuin matalataajuiset värähtelyt. Perustukseen siirtyvä värähtely eri mittaussuunnissa saadaan kertomalla maan värähtelykomponentit $v_{w,i}^{maa}$ pienennyskerroimella

$$k_i^{per} = -\frac{A}{\lg 8} \cdot \lg\left(\frac{f_i}{80}\right), \text{ mutta } k_i^{per} \leq A \quad (4)$$

jossa f_i on tarkasteltavan terssikaistan keskitäajuus. VTT:n esittämä arvo tekijälle A on 1,0 riippumatta rakennuksen koosta ja perustamistavasta. Pienennyskerroin esitetään graafisesti kuvassa 4.



Kuva 4. Pienennyskerroin perustukseen siirtyvän värähtelyn arvioimiseksi.

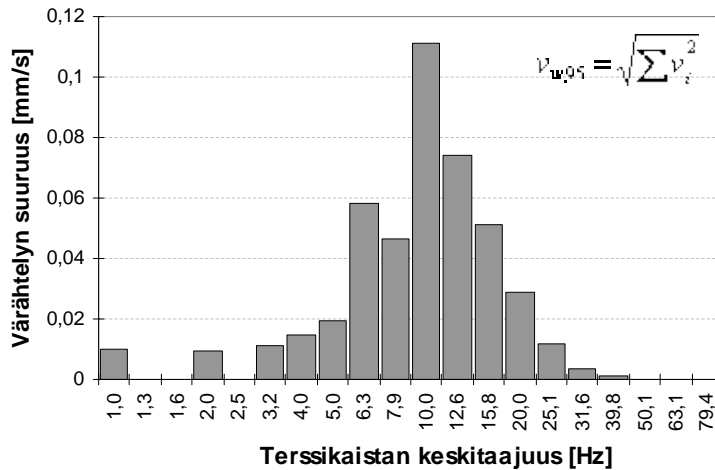
4. Perustuksen värähtelyn arviointi

Perustukseen siirtyvän värähtelyn taajuuskomponentit $v_{w,i}^{per}$ ja värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}^{per}$ lasketaan lausekkeista

$$v_{w,i}^{per} = k_i^{per} \cdot v_{w,i}^{maa} \quad (5)$$

$$v_{w,95}^{per} = \sqrt{\sum_i (v_{w,i}^{per})^2}. \quad (6)$$

Kuvassa 5 on esimerkkinä perustuksen värähtelyspektri, kun maasta mitatut värähtelykomponentit $v_{w,i}^{maa}$ ovat kuvan 3 mukaiset. Kuvan esimerkkitapauksessa $v_{w,95}^{per} = 0,17 \text{ mm/s} = 0,93 \cdot v_{w,95}^{maa}$.



Kuva 5. Kuvassa 3 esitetyn maan värähtelyspektrin avulla laskettu perustuksen värähtelyspektri.

5. Tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio sisätilojen värähtelystä

Tasaiseen voimistumiseen perustuva rakennuksen värähtely määritetään perustuksessa esiintyvän suurimman värähtelykomponentin perusteella,

$$v_{w1} = k_1 \cdot \max(v_{w,95}^{per,x}, v_{w,95}^{per,y}, v_{w,95}^{per,z}) \quad (7)$$

jossa käytetään pääsääntöisesti suurennuskerrointa $k_1 = 1,5$. Pienenpää suurennuskerrointa $k_1 = 1,0$ voidaan käyttää vain rakennuksilla, joilla lattia ja perustus ovat suorassa yhteydessä maahan sekä pysty- että vaakasuunnassa. Tällaisia ovat yksikerroksiset rakennukset, joissa lattia on maanvarainen eikä sokkeliä ei ole tuettu paaluille.

Kuvan 5 spektrin tapauksessa $v_{w1} = 1,5 \cdot 0,17 \text{ mm/s} = 0,25 \text{ mm/s}$, kun $k_1 = 1,5$.

6. Resonanssiin perustuva arvio sisätilojen värähtelystä

Resonanssitarkastelu tehdään erikseen rungolle ja lattialle. Lattian resonanssitarkastelu perustuu maan pystyvärähtelyyn ja rungon resonanssitarkastelu maan vaakavärähtelyyn.

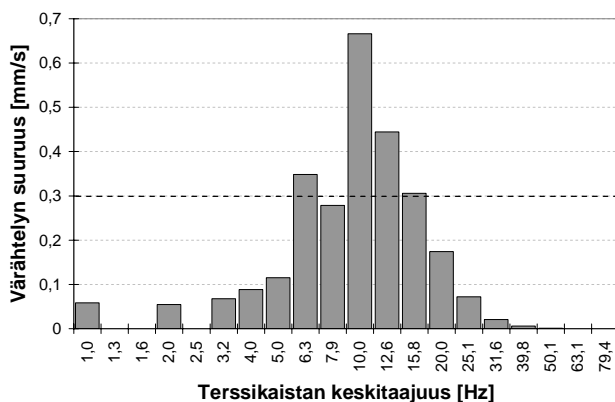
6.1 Lattian resonanssi

Lattian resonanssitapauksessa värähtelyn suuruus määritetään perustuksen pystysuuntaista värähtelyä kuvaavan spektrin suurimman arvon avulla, jolloin

$$v_{w2} = k_2 \cdot \max(v_{w,i}^{per,z}) \quad (8)$$

jossa käytetään suurennuskerrointa $k_2 = 6,0$.

Kuvassa 5 esitetyn perustuksen värähtelyspektrin tapauksessa $v_{w2} = 6 \cdot 0,11 \text{ mm/s} = 0,66 \text{ mm/s}$, jos lattian ominaistajuus sattuu terssikaistalle 10 Hz (kuva 6). Muussa tapauksessa v_{w2} on pienempi.



Kuva 6. Perustuksen värähtelyspektrin (kuva 5) avulla laskettu lattian pystyvärähtely resonanssitapauksessa.

6. Resonanssiin perustuva arvio sisätilojen värähtelystä

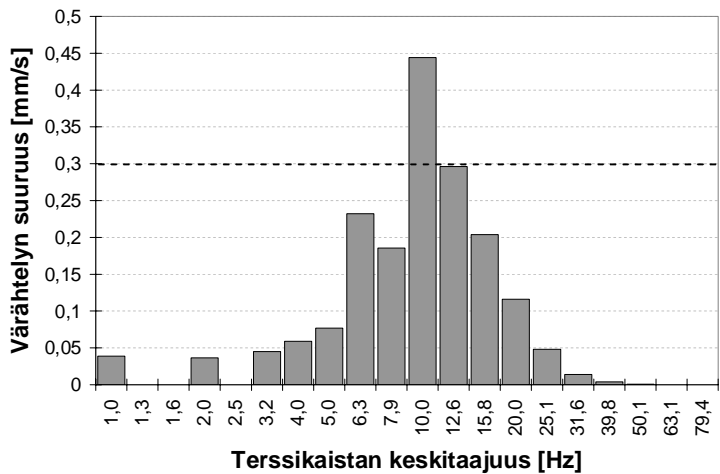
6.2 Rungon resonanssi

Rungon resonanssitapauksessa värähtelyn suuruus määritetään perustuksen vaaka-suuntaista värähtelyä kuvaavien spektrien suurimman arvon avulla, jolloin

$$v_{w2} = k_2 \cdot \max(v_{w,i}^{per,x}, v_{w,i}^{per,y}) \quad (9)$$

jossa käytetään suurennuskerrointa $k_2 = 4,0$.

Kuvassa 5 esitetyn perustuksen värähtelyspektrin tapauksessa $v_{w2} = 4 \cdot 0,11 \text{ mm/s} = 0,44 \text{ mm/s}$, jos rungon ominaistajuus sattuu terssikaistalle 10 Hz (kuva 7). Muussa tapauksessa v_{w2} on pienempi.



Kuva 7. Perustuksen värähtelyspektrin (kuva 5) avulla laskettu rungon vaakavärähtely resonanssitapauksessa.

6.3 Rakennesuunnittelussa tarvittavien mittaustulosten esittäminen

Mittaustuloksista esitetään rakennesuunnittelua varten taulukon 2 mallin mukaisesti värähtelyn tunnusluvut, jotka esittävät maan värähtelyn mittaustulokset ja arviot tasaiseen voimistumiseen ($k_1 = 1,5$) perustuvasta lattian ja rungon värähtelystä.

Taulukko 2. Malli maan ja rakennuksen värähtelyjen esittämisestä. Kanavien numerot vastaavat mittaussuuntia x, y ja z.

Maan värähtely		Mitattu tunnusluku $v_{w,95}$ (mm/s)		
Mittauspiste/Kanavat		x	y	z
Piste 1	1, 2, 3
Piste 2	4, 5, 6
Piste 3	7, 8, 9
...

Rakennuksen värähtely	Arvioitu tunnusluku $v_{w,95}$ (mm/s, $k_1 = 1,5$)		
Mittauspiste	Runko x-suunta	Runko y-suunta	Lattia z-suunta
Piste 1
Piste 2
Piste 3
...

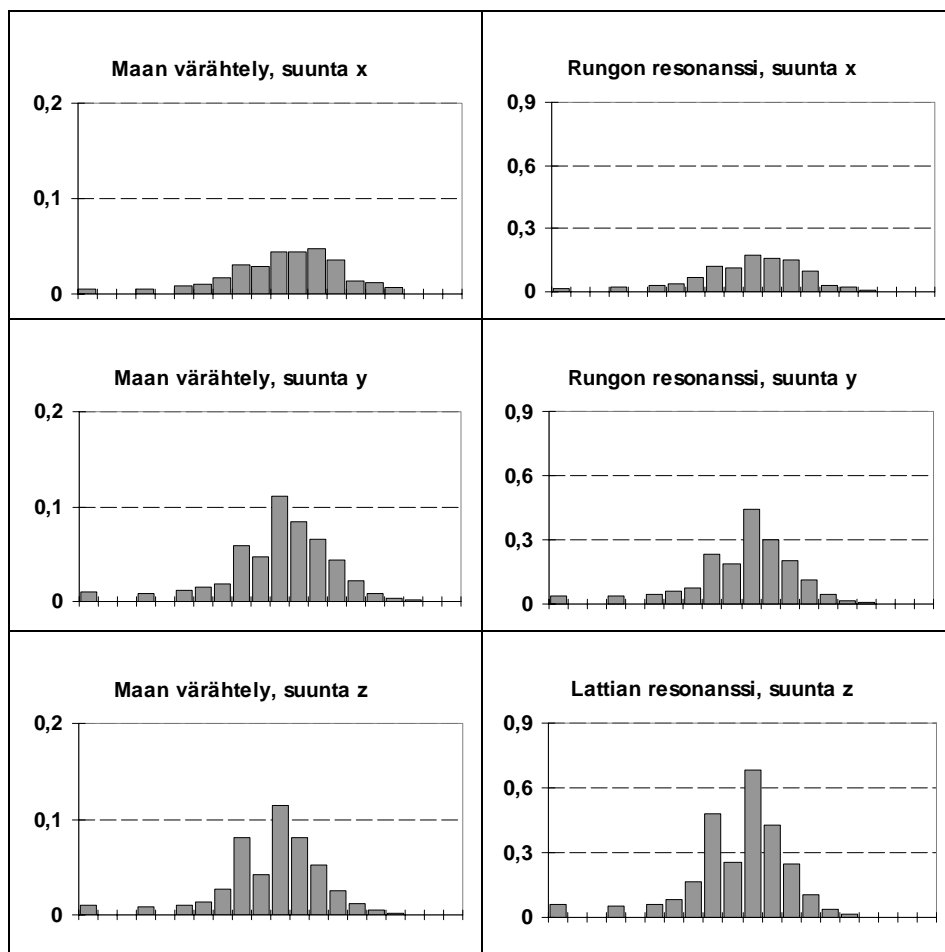
Resonanssitarkastelua varten esitetään kustakin mittauspisteestä kuvina:

- maan värähtelyn taajuussisältö terssikaistoittain (kuva 3), suunnat x, y ja z
- lattian pystyvärähtelyn suuruus resonanssitapauksessa (kuva 6), suunta z
- rungon vaakavärähtelyn suuruus resonanssissa (kuva 7), suunnat x ja y.

Taulukossa 3 on esimerkki kuvien ryhmittelystä. Kuvissa tulee esittää myös värähtelyrajat 0,3 mm/s ja 0,6 mm/s, joita tarvitaan värähtelysuunnitteluun liittyvässä päätöksenteossa.

6. Resonanssiin perustuva arvio sisätilojen värähtelystä

Taulukko 3. Periaatekuva yhden mittauspisteen tulosten ryhmittelystä. Kuva käsittää rungon ja lattian värähtelysuunnittelussa tarvittavat tulokset sekä maan värähtelyn taajuussisällöt.



7. Rungon ja lattian värähtelysuunnittelu

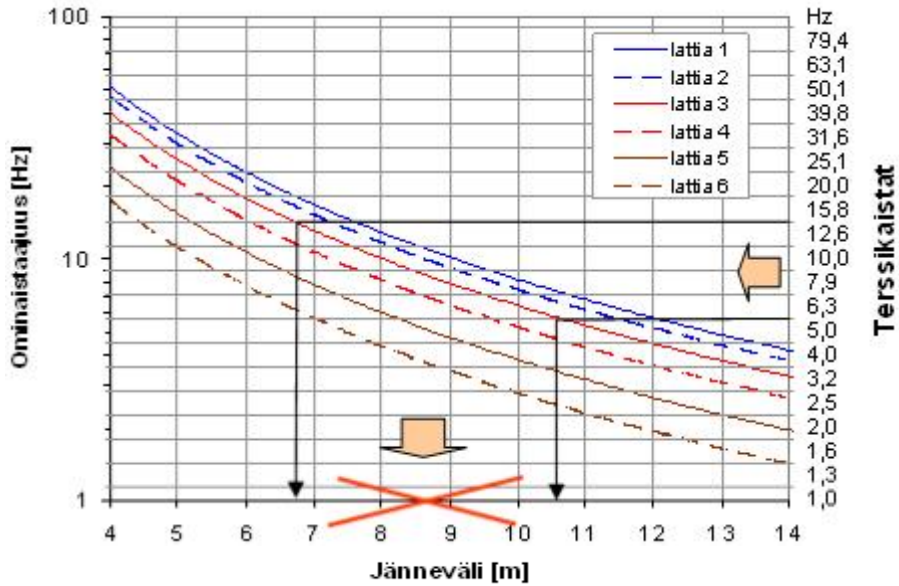
Mikäli tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio sisätilojen värähtelystä on suurempi kuin tavoitteena oleva enimmäisraja värähtelyn tunnusluvulle, pitää varautua rakennuspaikan käyttötarkoituksen muuttamiseen tai värähtelyn vaimentamiseen. Kuvan 5 esimerkin tapauksessa ehto $v_{w1} = 1,5 \cdot 0,17 \text{ mm/s} = 0,25 \text{ mm/s} \leq 0,3 \text{ mm/s}$ toteutuu, vaikka $k_1 = 1,5$.

Mikäli tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio sisätilojen värähtelystä täyttää tavoitteen mutta rungon tai lattian resonanssiin perustuva arvio on tavoitearvoa suurempi, suunnitellaan rakennuksen runko ja lattia siten, että ominaistaajuus ei satu maaperän värähtelyn dominoivalle taajuusalueelle. Kuvan 6 tapauksessa ehto $v_{w2} \leq 0,3 \text{ mm/s}$ toteutuu lattioilla, mikäli ominaistaajuus ei satu terssikaistoille 6,3–12,6 Hz. Kuvan 7 tapauksessa ehto $v_{w2} \leq 0,3 \text{ mm/s}$ toteutuu rakennuksen rungolla, jos ominaistaajuus ei satu terssikaistalle 10 Hz.

7.1 Lattian värähtelysuunnittelu

Lattian rakennesuunnittelussa valitaan lattian tyyppi ja jänneväli siten, että resonanssissa värähtely jää asetettua värähtelyrajaa pienemmäksi. Kuvassa 8 on esimerkki lattian jännevälin vaikutuksesta ominaistaajuuteen. Kuvan 6 esimerkki-tapauksessa lattian ominaistaajuuden ei tule sattua terssikaistoille 6,3–12,6 Hz, jotta värähtely olisi resonanssitapauksessa alle 0,3 mm/s. Kuvan 8 mukaan ehto toteutuu, kun lattiatyypiksi valitaan esimerkiksi lattia 3 ja sen jänneväli on muu kuin 6,7–10,6 m.

7. Rungon ja lattian värähtelysuunnittelu



Kuva 8. Lattian jännevälin vaikutus ominaistajuuteen.

Yleensä lattian resonanssisuunnittelussa lattian ominaistajuus suunnitellaan dominoivaa taajuusaluetta suuremmaksi, koska alemman taajuusalueen käyttö edellyttää yleensä niin suurta jänneväliä, että muut mitoituskriteerit eivät täyty. Muut kriteerit koskevat mm. lattian lujuutta murtorajatilassa, taipumaa käyttörajatilassa ja kävelystä aiheutuvaa lattian värähtelyä. Kevyillä lattioilla suurimman mahdollisen jännevälin määrää usein kävelystä aiheutuva värähtely ja erityisesti sen tarkastelussa käytetty palkin taipumarajoitus (0,5 mm) 1 kN:n piste kuormalle (TRY 2005, YM 2007). Kuitenkin, jos lattia on raskas ja jänneväli on suuri, voi resonanssisuunnittelussa olla mahdollista mitoittaa ominaistajuus myös dominoivaa taajuusaluetta pienemmäksi. Tällaisessa tapauksessa suunnittelulla ei pelkästään estetä resonanssia vaan värähtely voi jopa pienentyä.

Yksiaukkoisen lattian ominaistajuus arvioidaan lausekkeen

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (10)$$

avulla (TRY 2005). Lausekkeessa l on lattian pääsuunnan pituus, $(EI)_l$ on sitä vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden (Nm^2/m) ja m on lattian massa pinta-alayksikköä kohden (kg/m^2). Lattian massaan sisällytetään hyötykuormasta osuus $30 \text{ kg}/\text{m}^2$. Esitetty lauseke on materiaaliriippumaton ja se on esitetty myös

puurakenteiden suunnittelua koskevan Eurocode-standardin kansallisessa liitteessä (YM 2007). Molemmat ohjeet koskevat kävelystä aiheutuvan lattian värähtelyn arviointia ja myös siihen tarvitaan lattian ominaistajuutta.

Lauseketta voidaan käyttää myös kaksiaukkoisen palkin tapauksessa, mikäli jännevälit ovat yhtä suuret. Mikäli aukot ovat erisuuruiset, ominaistajuus on korkeampi kuin suuremman jännevälin l avulla laskettu ominaistajuus. Esimerkiksi 10 %:n ero jänneväleissä kasvattaa ominaistajuutta noin 25 %.

Kaikilta reunoiltaan tuetun lattian tapauksessa ominaistajuus voi olla huomattavasti esitetystä lausekkeesta saatua arvoa suurempi, mikäli lattian leveys on pieni ja poikittaisjäykkyys on suuri. Lauseke aliarvioi ominaistajuutta enintään 5 %, kun lattiakentän vapaan leveyden suhde jänneväliin $b/l > 1,0$ ja poikittais- ja pituusjäykkyyden suhde $(EI)_l/(EI)_b > 30$, mutta jos $b/l = 0,5$, samaan tarkkuuteen päästään vasta, kun $(EI)_l/(EI)_b > 200$. Poikittaisjäykkyyden merkityksen arviointi on esitetty tarkemmin ohjeessa (TRY 2005). Jos lattiapalkkien päät on tuettu primääripalkkeihin, niiden ominaistajuus on arvioitava erikseen.

Liitteessä B on esimerkkejä erityyppisten lattioiden ominaistajuuksista. Puuvälipohjien ominaistajuuden laskenta voidaan tehdä myös Puuinfon julkaisemalla laskentaohjelmalla (Puuinfo 2008). Ohjelmassa välipohjapalkkeja tarkastellaan yksiaukkoisina. Ohjelma ottaa huomioon myös lattian poikittaisjäykkyyden vaikutuksen.

7.2 Rungon värähtelysuunnittelu

Rungon värähtelysuunnittelussa voidaan ominaistajuuteen vaikuttaa helpoiten valitsemalla rakennuksen korkeus siten, että resonanssissa ylimmän kerroksen vaakavärähtely jää asetettua tavoiterajaa pienemmäksi. Rungon resonanssitarkastelua ei tarvitse tehdä yksikerroksisilla rakennuksilla, jolloin riittää pelkästään lattian resonanssitarkastelu. Kuvassa 9 on esimerkki rakennuksen kerros määrän vaikutuksesta ominaistajuuteen. Kuvan 7 esimerkkitapauksessa rungon ominaistajuus ei saa sattuä terssikaistalle 10 Hz, jotta värähtely on resonanssitapauksessa alle 0,3 mm/s. Kuvan 9 mukaan ehto toteutuu, ellei talo ole 1½–2-kerroksinen.

7. Rungon ja lattian värähtelysuunnittelu

Kerrosten lukumäärä	terssikaistan keskitäajuus									
	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10	12,6
1	Ei resonanssimitoitusta									
1½-2						X	X	X	X	
3				X	X	X	X			
4			X	X	X	X				
5		X	X	X	X					
6-7	X	X	X	X						
8	X	X	X							
9-10	X	X								

Kuva 9. Rakennuksen kerrosluvun vaikutus ominaistaajuuteen.

Rungon resonanssi on usein määräävä savimaille rakennetuissa matalissa 1½-2 -kerroksisissa omakoti- tai rivitaloissa, koska niiden rungon ominaistaajuus voi sattua savimailla dominoivalle maan värähtelyn taajuusalueelle 4–10 Hz. Jos rakennukset ovat vähintään 5-kerroksisia, rungon resonanssi ei ole määräävä. Kovilla maalajeilla ja usein myös matalilla savikoilla dominoivat yli 10 Hz:n taajuudet, jolloin rungon resonanssi ei ole määräävä pientaloillakaan.

Korkeilla rakennuksilla vaakavärähtely on ylemmissä kerroksissa yleensä pienempää kuin alemmissä kerroksissa, koska selvästi dominoivan taajuusalueen alapuolella oleva rungon ominaistaajuus aiheuttaa värähtelyn pienenemisen. Rakennuksen massan hitauden vuoksi ylemmät kerrokset eivät ehdi mukaan perustuksen nopeisiin liikkeisiin.

Kuvassa 9 esitetty ominaistaajuuden riippuvuus rakennuksen korkeudesta perustuu kokemusperäiseen tietoon (Talja et al. 2008). Ominaistaajuuteen vaikuttavat käytettyjen materiaalien lisäksi rakennuksen pohjapinta-ala ja jäykistävien seinien määrä. Tarkka ominaistaajuuden arviointi on laskennallisesti epätarkkaa, sillä perustamistavan, liitosten jouston ja ei-kantavien rakenneseosien todellisen jäykkyyden mallintaminen on vaikeaa.

Matalien rakennusten rungon ominaistaajuutta on käytännössä vaikea pienentää savimaassa dominoivaa värähtelytaajuutta pienemmäksi vaikuttamatta haitallisesti rungon muihin ominaisuuksiin. Resonanssi on kuitenkin vältettävissä nostamalla rungon ominaistaajuutta. Pientaloilla rungon ominaistaajuutta nostavat seuraavat tekijät:

7. Rungon ja lattian värähtelysuunnittelu

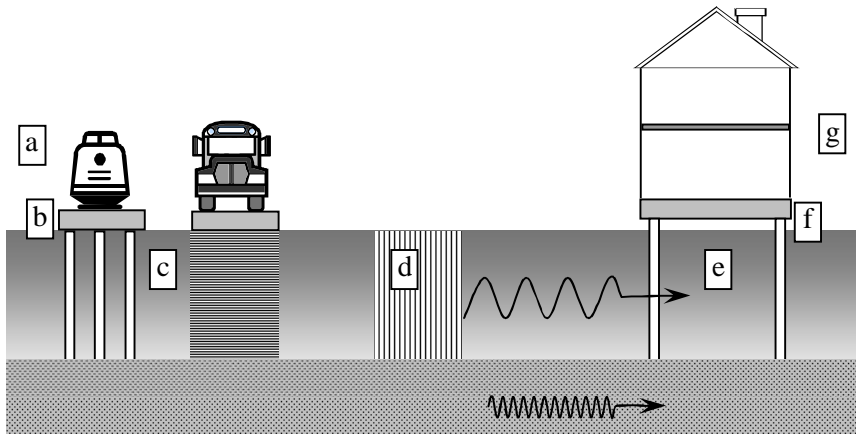
- Paaluperustuksilla oleva sokkeli ulotetaan maahan niin syväälle, että paalujen yläpäiden vaakataipumisesta aiheutuva jousto ei alenna ominaistaajuutta.
- Kasvatetaan rungon vaakajäykkyyttä lisäämällä jäykistävien seinien määrää, seinätasojen leikkausjäykkyyttä tai kasvattamalla pohjapinta-alaa.
- Pienennetään erityisesti rakennuksen ylempien kerrosten massaa.

Yleisenä periaatteena on, että ominaistaajuus kasvaa kaksinkertaiseksi, kun rakenteen jäykkyys kasvaa nelinkertaiseksi tai sen massa pienenee neljäsosaan (vrt. lattian ominaistaajuuden laskenta, s. 28). Eräs vaihtoehto kaksikerroksisen talon ominaistaajuuden nostamiseksi on rakentaa talon ensimmäinen kerros betonirunkoisena ja toinen kerros puu- tai teräsrunkoisena

Koska rungon ominaistaajuutta on laskennallisesti vaikea arvioida, eräs tapasen selvittämiseen on värähtelytesti. Testissä rakennuksen yläosa saatetaan vaakasuuntaiseen liikkeeseen ja ominaistaajuus arvioidaan aiheutetusta ylimmän kerroksen vaakavärähdyksestä. Mitattua rungon ominaistaajuutta voidaan käyttää tärinäalueelle rakennettavan kohteen suunnittelussa kuvan 9 sijaan edellyttäen, että testatun ja rakennettavan talon koko, rakenteet, perustamistapa ja maaperäolosuhteet vastaavat toisiaan.

8. Tärinän eristäminen

Yleensä tärinähaitat ovat suurimmat pehmeissä maalajeissa. Periaatteet pehmeässä maakerroksessa siirtyvän tärinän pienentämiseksi esitetään kuvassa 10.



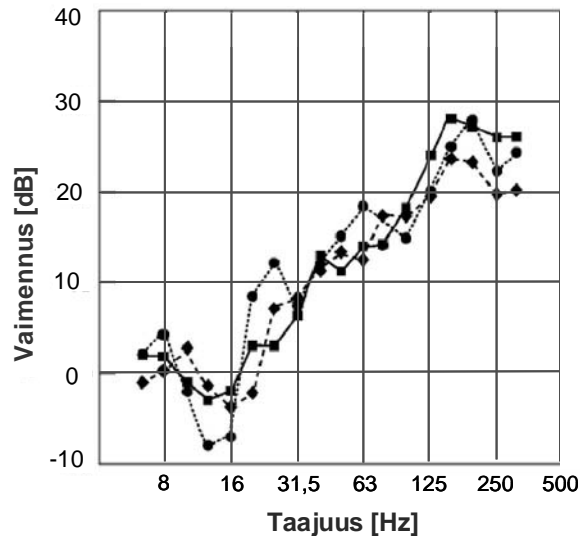
Kuva 10. Periaatekuva pehmeässä maakerroksessa siirtyvän tärinän pienentämiseen vaikuttavista tekijöistä: (a) liikenne ja väylän kunto, (b) väylän tärinäeristys, (c) väylän tuenta kovaan maapohjaan, (d) tärinäseinä, (e) rakennuksen tuenta kovaan maapohjaan, (f) rakennuksen tärinäeristys, (g) rungon ja lattian värähtelysuunnittelu.

Tärinän syntymiseen voidaan vaikuttaa väylän kunnon parantamisella ja liikenne-rajoituksin. Karkea arvio on, että akselipainon, nopeuden tai tien pinnan epätasaisuuden puolittaminen pienentää tärinän noin puoleen.

Pehmeään maakerrokseen syntyvää värähtelyä voidaan pienentää tukemalla väylä kovaan maapohjaan. Myös rakennus voidaan tukea kovaan maapohjaan, jolloin maan pintakerroksen värähtelyn vaikutus rakennukseen pienenee, erityisesti jos sokkeli ei ole kiinteässä yhteydessä maahan ja rakennus on raskas. Koska värähtely pienenee vain kovaan maahan tukeutuvassa suunnassa, normaali

paaluperustus ei pienennä rakennuksen vaakavärähtelyä. Pehmeillä mailla väylän tai rakennuksen tuenta kovaan maaperään voidaan toteuttaa esimerkiksi maanvaihdolla, kalkkisementtistabiloinnilla tai paalulaatalla. Tuenta toimii sitä tehokkaammin, mitä lähempänä on kova maaperä ja mitä jäykempi on tuenta.

Liikenteestä syntyvää värähtelyä voidaan pienentää, erityisesti kiskoliikenteellä, lisäämällä radan alusrakenteiden joustoa. Lisäjousto voidaan saada aikaan sijoittamalla pehmeä eristerakke radan tukikerrokseen tai rakentamalla koko tukikerros kelluvaksi laataksi (Talja & Saarinen 2009). Radan joustoa ei kuitenkaan voi lisätä rajattomasti vaarantamatta turvallisuutta. Siksi tärinäeristys toimii käytännössä vain niin kovilla maapohjilla, joissa dominoivat värähtelyt esiintyvät äänitaajuusalueella (yli 20 Hz). Pehmeän maapohjan tapauksessa tärinä voi jopa kasvaa (kuva 11).



Kuva 11. Esimerkki radan alle asennetun erillisjousitetun laatan vaimennuksesta terssi-kaistoittain (Nelson 1996). Mittaustulokset esittävät kolmea eri kohdetta. Jokainen 6 dB:n kasvu vaimennuksessa vastaa värähtelyn suuruuden puolittumista. Negatiivinen vaimennus kuvaa värähtelyn voimistumista.

Maasta rakennukseen siirtyvää värähtelyä voidaan pienentää lisäämällä joustoa rakennuksen alle. Menetelmää käytetään yleensä äänitaajuuksisen värähtelyn pienentämiseen (Talja & Saarinen 2009), mutta kasvattamalla joustoa voidaan vaimentaa myös matalampia taajuuksia. Jos esimerkiksi pystysuunnassa vaimennettava taajuus on 10 Hz, tulee rakennuksen omasta painosta aiheutuvan

8. Tärinän eristäminen

eristeen jouston olla vähintään 10 mm. Vaakavärähtelyn pienentäminen edellyttää eristysratkaisulta joustavuutta myös vaakasuunnassa. Lisätty jousto ei kuitenkaan saa johtaa tuulen aiheuttamaan rakennuksen huojuntaan, ihmisen liikkeistä aiheutuvaan rakennuksen värähtelyyn tai rungon epätasaisesta painumisesta aiheutuviin rakenneaurioihin. Savimailla dominoivalla taajuusalueella 4–10 Hz toimivasta eristysratkaisusta ei ole käytännön kokemusta, joten sen kehittäminen edellyttää tuotekehitystä ja koerakentamista.

Sisätiloissa tapahtuva värähtelyn voimistuminen resonanssin vuoksi voidaan välttää oikein tehdyllä rakennuksen värähtelysuunnittelulla (s.27). Silloin rakennuksen korkeus ja lattian jänneväli valitaan siten, että rakenteen ominaistajuus ei satu maaperän värähtelyn dominoivalle taajuusalueelle. Rakenteiden värähtelysuunnittelulla ei kuitenkaan voida pienentää rakennuksen perustuksessa esiintyvää värähtelyä.

Maassa leviävää värähtelyä voidaan pienentää maahan upotetuilla tärinäseinillä (Talja et al. 2009). Tärinäseinän toiminta perustuu siihen, että se on ympäröivää maata merkittävästi jäykempi tai joustavampi. Tärinäeste toimii sitä paremmin, mitä suurempi on maan ja esteen jäykkyysero ja mitä syvemmmälle tärinäeste ulottuu. Pehmeillä savimailla riittävä joustavuus voidaan saavuttaa esimerkiksi ilma- tai rengasrouhetäytöllä ja riittävä jäykkyys esimerkiksi kalkkisementtistabiloinnilla tai tukipaaluilla. Joustavan tärinäesteen uskotaan vaimentavan myös vaakasuuntaista värähtelyä. Suomessa Liikennevirasto on kokeillut kahta radan varteen rakennettua tärinäseinätyyppiä, joista toinen on rakennettu käyt-täen pilaristabilointia ja toinen käyttäen teräsponttiprofiileita. Lopullisia tuloksia kokeilusta ei ole vielä julkaistu. Lisäksi suunnitteilla on ollut sähköpylväistä ja rengasrouheesta tehdyn joustavan tärinäestetyypin kokeilu (Talja et al. 2009).

Tällä hetkellä ei ole ohjeistusta maahan tai rakennuksen alle rakennettujen, erityisesti pehmeille maille soveltuvien tärinäesteiden toimivuudesta. Joidenkin selvitysten perusteella tärinäesteillä on savimailla vaikea saada yli 50 %:n pienennystä. Pienennys on kuitenkin tapauskohtainen ja riippuu maan värähtelyn suunnasta, taajuussisällöstä ja tärinäesteen sijainnista. Jos vaimennusratkaisun vaikutus värähtelyspektriin tunnetaan esimerkiksi kuvassa 11 esitetyllä tavalla, tärinäesteen vaikutus värähtelyyn voidaan ottaa huomioon pienennyskertoimen avulla samaan tapaan kuin arvioidaan perustuksen vaikutus maan värähtelyyn (kuva 4, s. 20). Pienennyskertoimen suuruus tulee tuntea terssikaistoittain sekä pysty- että vaakasuuntaiselle värähtelylle.

Lähdeluettelo

- ISO 2005. SFS-EN ISO 8041. Tärinän vaikutus ihmiseen. Mittauslaitteisto. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 94 s.
- Nelson, J. T. 1996. Recent developments in ground-borne noise and vibration control. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 193, s. 367–376.
- NS 2005. Norwegian Standard NS 8176.E. Vibration and shock. Measurement of vibration in buildings from landbased transport and guidance to evaluation of its effects on human beings. Lysaker: Standards Norway. 30 s.
- Puuinfo 2008. Puuvälipohjien värähtelymitoitusohjelma. Eurokoodi 5/Suomen kansallinen liite. <http://www.puuinfo.fi/kirjasto/mitoitutusohjelmat>.
- RATO 2008. Ratatekniset ohjeet. Osa 3: Radan rakenne. Helsinki: Ratahallintokeskus. 89 s.
- Talja, A. 2002. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. Espoo: VTT. 50 s. + liitt. 15 s. VTT Tiedotteita 2278. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2278.pdf>.
- Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. & Halonen, M. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi. Espoo: VTT. 95 s. + liitt. 69 s. VTT Tiedotteita 2425. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2425.pdf>.
- Talja, A. & Saarinen, A. 2009. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. VTT Espoo: VTT. 56 s. + liitt. 11 s. VTT Tiedotteita 2468. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2468.pdf>.
- Talja, A., Fulop, L., Kurkela J., Vepsä, A. & Törnqvist, J. 2009. Tärinäesteiden mahdollisuudet liikennetärinän vaimentamisessa. Espoo: VTT. 58 s. Tutkimusraportti VTT-R-00963-09.
- TRY 2005. Teräsnormikortti N:o 17/2005. Kävelystä aiheutuvat välipohjien värähtelyt. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry. 15 s.
- YM 2007. Ympäristöministeriön asetus Eurocode-standardien soveltamisesta talonrakentamisessa. Kansallinen liite standardiin EN 1995-1-1 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1:Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 7 s.

Liite A: Kuvaus kaava-alueen tärinämittauksen teettämisestä

Tässä liitteessä on ohjeita suunnitteilla olevan kaava-alueen tärinämittausselvitysten tilaamista ja tekemistä varten. Koska kaavat ja kaava-alueet eroavat huomattavasti toisistaan, ohjeistusta tulee tarvittaessa tarkentaa tapauskohtaisesti. Jos alueella on vanhoja rakennuksia, lisätietoa värähtelyselvityksen tekemistä varten voidaan saada myös mittaamalla vanhojen rakennusten värähtelyä ja haastattelemalla alueen asukkaita.

1. Yleiset vaatimukset

Tärinämittausten tekijän ja tulosten analysoijan tulee osoittaa, että heillä on riittävä asiantuntemus liikennetärinän mittaamisesta, tulosten analysoinnista ja tärinäselvityksen tekemisestä VTT:n ohjeen mukaisesti. Mittaukset ja muut tärinäselvitykset voivat olla eri toimeksiantoja, mutta jos mittaukset tekee erillinen alikonsultti, sillä ei saa olla vaikutusta tärinäselvityksen laatuun.

Tärinä mitataan kolmikomponenttisesti (ohjeen kohta 3.1, s. 17). Tarkasteltava taajuusalue käsittää terssikaistat 1–80 Hz. Mittauslaitteiston erottelukyvyn ja taustakohinan tulee olla niin pieni, että niillä voidaan luotettavasti erottaa värähtelyt, joiden taajuuspainotettu nopeuden tehollisarvo on 0,03 mm/s. Värähtelystä tulee saada myös tehollisarvoa vastaava hetkellinen värähtelyspektri. Mittauslaitteistojen kokoonpano ja niiden tarkkuus tulee olla dokumentoitu.

Mittausjakson pituuden tulee olla yksi viikko, ellei poikkeustapauksessa lyhyemmän tai pidemmän jakson käyttöä voida luotettavasti perustella. Mittausjakson aikana liikenteen ja väylän kunnon tulee edustaa mahdollisimman hyvin normaalityyläntilannetta. Mittaukset suositellaan tehtäväksi sulan maan aikaan, ensisijaisesti kevät- ja syyskaudella, jolloin maaperän kosteus on suurin.

2. Mittauspisteiden paikan valinta

Mittauspisteiden valinnalle tulee esittää perustelu, josta selviää, miten niiden avulla arvioidaan alueelle suunniteltujen rakennuksien kohdalla tapahtuva maaperän värähtely. Mittauspisteiden valinnassa tulee ottaa huomioon, että näennäisesti pienet erot maaperässä (pehmeikön paksuus ja reuna-alueet) ja väylän ominaisuuksissa (epätasaisuudet, sillat, rummut, risteävät väylät) voivat vaikuttaa

värähtelyn suuruuteen ja että vaakavärähtely voi kauempana väylää olla suurempi kuin väylän läheisyydessä.

Suuntaa antava suositus mittauspisteiden etäisyydeksi väylästä on pehmeikkö-alueilla:

- 5 m tai ensimmäisen julkisivulinjan etäisyys
- 20 m tai seuraavan julkisivulinjan etäisyys
- 40 m tai seuraavan julkisivulinjan etäisyys
- 60 m (vain valtatie ja rautatie)
- 100 m (vain rautatie)
- 150 m (vain rautatie).

Kovilla maalajeilla riittää yleensä tärinän mittaus lähinnä väylää olevan julkisivulinjan kohdalta.

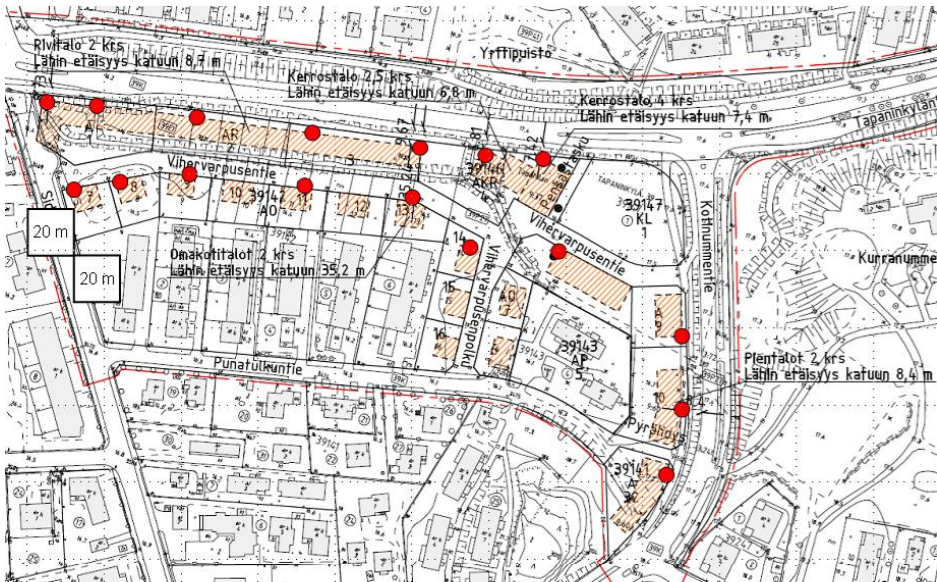
Suuntaa antava suositus mittauspisteiden välimatkaksi väylän suunnassa on:

- kadut, noin 20 m
- valtatie, noin 40 m
- rautatie, noin 60 m.

Mittauspisteet sijoitetaan mahdollisimman lähelle suunniteltua rakennusta ja valinnassa otetaan huomioon erityisesti pehmeikköjen reuna-alueet, väylän epäjätkuvedet ja risteävät tiet. Mikäli maaperäkartojen avulla voidaan olettaa alueen maaperän olevan tasalaatuista, edellä esitetyt mittauspisteiden välimatkat voidaan kasvattaa kaksinkertaiseksi. Kuvassa A1 on esimerkki rakennusalueen tärinämittauspisteistä.

Mittaukset voidaan tehdä useassa eri jaksossa. Jos kahdella lähimmällä etäisyydellä olevissa mittauspisteissä painotettu värähtelyn tunnusluku on kaikissa suunnissa alle 0,3 mm/s ja tunnuslukua vastaavan keskimääräisen värähtelyspektrin suurin arvo on alle 0,05 mm/s, mittaus kauempana olevista mittauspisteistä ei ole tarpeen. Mikäli mittaustulosten ero samalla etäisyydellä olevien vierekkäisten pisteiden välillä on suurta, arvioidaan lisämittausten tarve.

Liite A: Kuvauk kaava-alueen tärinämittauksen teettämisestä



Kuva A1. Esimerkki mittauspisteiden sijainnista suunnitellulla kaava-alueella (yläkuva). Keskil alueella mittauspisteiden määrää on harvennettu, koska sen lähialueella pohjasuhteet (alakuva) ja väylän ominaisuudet eivät muutu.

3. Mittaustulokset

Mittausjakson aikana rekisteröidyistä tapahtumista tarkastellaan 15:tä suurimmat värähtelyt aiheuttanutta tapahtumaa. Erikseen haluttaessa voidaan nämä 15 tapahtumaa valita kalustotyypeittäin (esim. tavarajunat lastattuna, tavarajunat tyhjinä, pikajunat, IC-junat, Pendolinot, lähijunat, kuorma-autot, linja-autot, pakettiautot). Tapahtumien oikeellisuuden varmistaminen tulee perustella (näköhavainto, kuva-aineisto, tapahtumien samanaikaisuus eri pisteissä, varmistetut liikennetiedot, tms.).

Mitatut värähtelyn suuruudet esitetään värähtelyn tunnuslukuina (ohjeen taulukko 2, s. 25), jotka esittävät

- maasta mitatut värähtelyt ja
- arviot tasaiseen voimistumiseen ($k_1 = 1,5$) perustuvasta lattian ja rungon värähtelystä.

Lisäksi esitetään seuraavat taajuuskohtaiset tulokset (ohjeen taulukko 3, s. 26):

- maan värähtelyn taajuussisältö 1/3-oktaavikaistoittain, suunnat x, y ja z
- lattian pystyvärähtelyn suuruus resonanssitapauksessa, suunta z
- rungon vaakavärähtelyn suuruus resonanssitapauksessa, suunnat x, y

Suunta x on pääväylän suunta, suunta y on väylän poikittaissuunta ja suunta z on pystysuunta.

4. Johtopäätökset

Tulosten perusteella arvioidaan, miten alue soveltuu asuinrakentamiseen. Ainakin seuraavat arviot tulee esittää:

- Millä alueella ja kuinka paljon tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio ylittää värähtelyrajat 0,3 mm/s ja 0,6 mm/s (ohjeen kohta 5, s. 22)?
- Millä taajuusalueella lattian ja rungon resonanssitarkasteluun perustuva arvio ylittää värähtelyrajat 0,3 mm/s ja 0,6 mm/s (ohjeen kohta 6, s. 23)?
- Miten lattian ja rungon värähtelysuunnittelulla (kerrosmäärä, materiaalit, jännevälit) voidaan pienentää resonanssin merkitystä (ohjeen kohta 7, s. 27)?

5. Suositukset jatkotoimenpiteiksi

Mittaustulosten kattavuutta ja jatkohyödyntämistä koskevia suosituksia ovat:

- Tarvitaanko tarkentavia lisämittauksia?
- Miten rakennesuunnittelijan tulee ottaa mittaustulokset huomioon?

Kaavoituksen kannalta keskeisiä suosituksia ovat:

- Mihin suunnittelualueella voidaan osoittaa rakentamista?
- Minkälaista rakentamista voidaan osoittaa?
- Mitä asioita jatkosuunnittelussa tulee tällöin ottaa huomioon?

6. Mittausraportin liitteet

Mittausraportin tulee sisältää ainakin ohessa kuvatut liitteet 1 ja 2:

Liite 1: Mittauspisteiden sijainti kaava- ja geokartalla.

Liite 2: Liikennetiedot tarkastelussa käytetyistä tapahtumista.

Liikennetiedot lisäävät tulosten luotettavuutta ja helpottavat mittaustulosten myöhempää hyödyntämistä. Jälkikäteen liikennetietojen saaminen ei ole mahdollista. Junaliikenteen tapauksessa esitetään liikennetiedot niistä 15:sta suurimmat värähtely aiheuttaneesta junasta, joihin kohdassa 3 esitetyt tulokset perustuvat. Maantieliikenteen tapauksessa esitetään mahdollisesti käytettävissä oleva kuva- tai muu havaintoaineisto. Junista suositellaan esitettäväksi tapahtuman ajankohdan ja suurimman mitatun värähtelyn suuruuden lisäksi vähintään seuraavat tiedot: junan tyyppi, kulkusuunta, junan numero, junan kokonaispaino, junan suurin akselipaino ja suurin sallittu nopeus mittausalueella.

Liite 3. Lisätietoja.

Tässä liitteessä voidaan esittää muuta sellaista tietoa, joka tulosten tulkinnan tai jatkohyödyntämisen kannalta katsotaan tarpeelliseksi. Lisätietoja voivat olla esim. väylän pintarakenteiden laji ja kunto, väylän perustamistapa, mahdolliset tärinän vaimennusratkaisut, liikenteelle asetetut paino- ja nopeusrajoitukset sekä väylän epäjatkuvuuskohdat ja niiden sijainti (sillat, rummut, ratavaihteet, ajohidasteet, montut, tms.). Erityisen tärkeitä ovat sellaiset tiedot, joiden saaminen myöhemmin ei ole mahdollista.

Liite B: Esimerkkejä välipohjien ominaistajuuksista

Esimerkkitapaukset liittyvät lattian värähtelysuunnitteluun (ohjeen kohta 7.1, s. 27) ja esitettyjä tuloksia voidaan käyttää apuna alustavassa värähtelysuunnittelussa. Esimerkkien tarkoitus on antaa yleiskäsitys siitä, miten välipohjarakenteen ja jännevälin valinta vaikuttaa lattian ominaistajuuteen. Esimerkit käsittelevät puu- ja ontelolaattavälipohjia.

Ominaistajuuden riippuvuus lattian jännevälistä perustuu ohjeessa esitettyyn yksinkertaistettuun laskentakaavaan. Laskennassa välipohjapalkkeja tarkastellaan yksiaukkoisina, eikä siinä oteta huomioon lattian poikittaisjäykkyyden vaikutusta. Siksi lasketut kuvaajat esittävät ominaistajuuden alalikiarvoja. Tieto alalikiarvosta on riittävä, kun kyse on savimaa-alueesta tai kevyistä välipohjista, jolloin lattian ominaistajuus suunnitellaan yleensä herätevärähtelyn dominoivaa tajuusalueetta suuremmaksi. Jos värähtelysuunnittelussa pyritään kuitenkin herätevärähtelyä pienempään ominaistajuuteen, tarvitaan ominaistajuuden ylälikiarvoa, joka on arvioitava tarkemmilla laskentamenetelmillä.

Puurunkoisen välipohjan esimerkissä palkisto on tehty puupalkeista, viilupuu-palkeista tai liimapuupalkeista. Palkkijako on 600 mm. Pintarakenteena on tarkasteltu kahta eri tapausta. Toisessa niistä pintana on harvalaudoitus 300 mm:n jaolla, ja sen päällä on kaksinkertainen kipsilevy 2 x 15 mm (paino 27 kg/m²). Toisessa tapauksessa pintana on vanerilevy 21 mm (paino 12 kg/m²). Vanerilevy on oletettu kiinnitetyksi suoraan lattiapalkkeihin liimalla siten, että levyn voidaan olettaa toimivan liittorakenteena lattiapalkkien kanssa. Perusrakenteen painoon on lisätty 16 kg/m² varustelusta aiheutuvaa painoa (muovimatto tai parketti, villat, alapuolinen levytys tai panelointi) sekä hyötykuormasta osuus 30 kg/m². Ominaistajuuden laskennassa on käytetty Puuinfon värähtelymitoitushjelmassa (Puuinfo 2008, <http://www.puuinfo.fi/kirjasto/mitoitushjelmat>) esitettyjä kimmo-kertoimia.

Ontelolaattalattioilla (betonin lujuusluokka K60) tarkasteltavat laatan korkeudet ovat 200 mm, 265 mm ja 370 mm. Lattian taivutusjäykkyyden kohden $(EI)_l$ [Nm^2/m] on oletettu riippuvan ontelolaatan korkeudesta h [mm] seuraavasti:

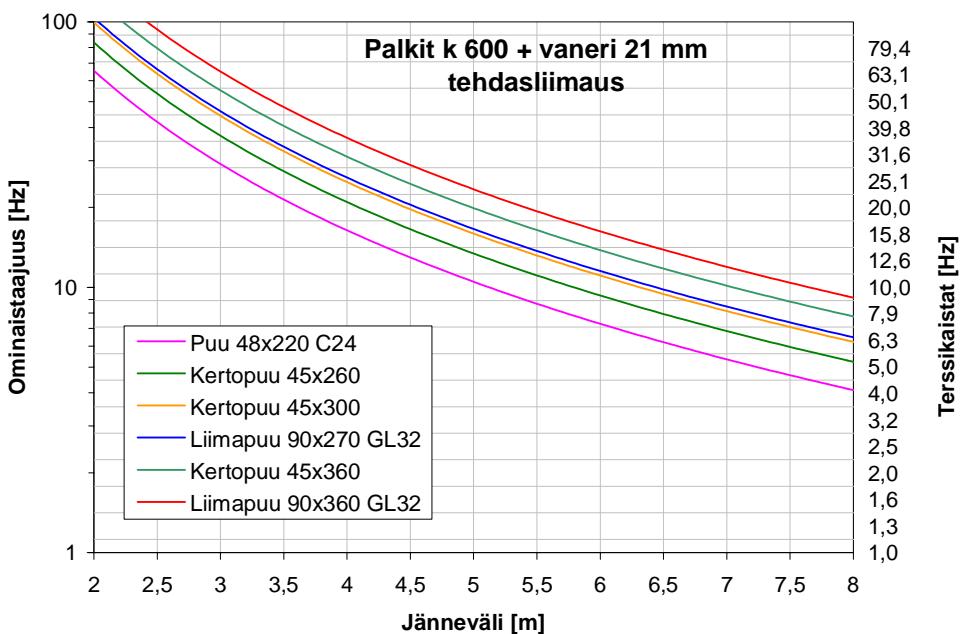
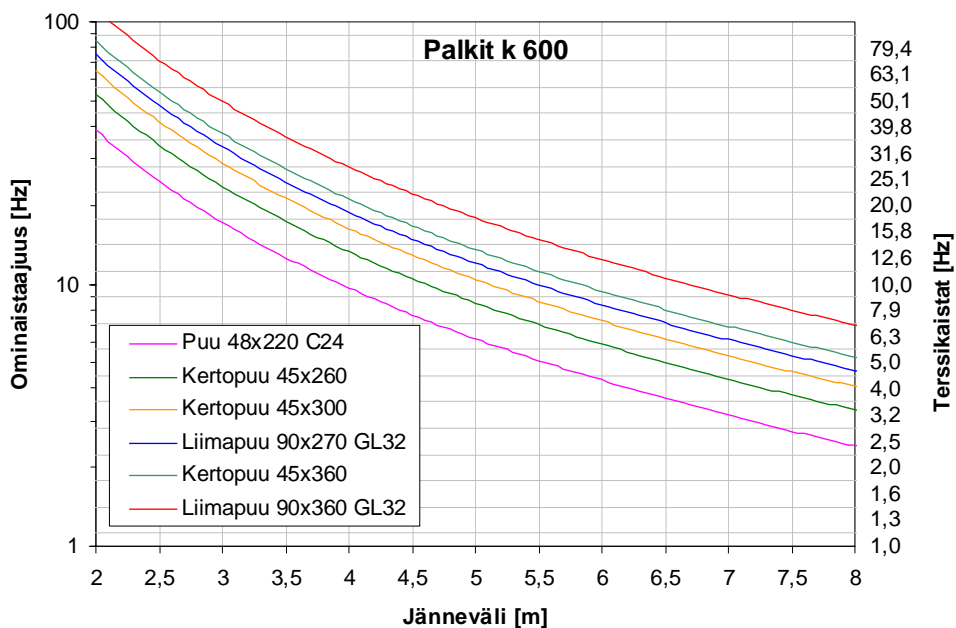
- $(EI)_l = 2,4 \cdot h^{3,0}$, kun laatasto on ilman pintavalua
- $(EI)_l = 67 \cdot h^{2,5}$, kun laataston päällä on pintavalu 50 mm.

Tarkka taivutusjäykkyyden arvo riippuu valmistajan käyttämästä poikkileikkausmuodosta, betonin lujuusluokasta, punosten koosta ja punosten määrästä. Perusrakenteen painoon on lisätty varustelusta aiheutuvaa painoa 30 kg/m^2 (ilman pintavalua) tai 10 kg/m^2 (pintavalu 50 mm) sekä hyötykuormasta osuus 30 kg/m^2 .

Kuvassa B1 esitetään puulattioiden ja kuvassa B2 ontelolaattalattioiden ominaistuuksien riippuvuus jännevälillä. Kuvaajien avulla voidaan arvioida, mitä jännevälillä värähtelysuunnittelussa tulee käyttää, kun pyritään välttämään resonanssin syntyminen. Jos esimerkiksi tärinämittausten perusteella suunnittelussa tulee välttää taajuuskaistoja 5,0–7,9 Hz, puulattian jänneväli voi esimerkin kipsilevypintaisella lattialla olla palkkivalinnasta riippuen enintään 4–7 m ja vaneripintaisella lattialla enintään 5,5–8 m. Ontelolaattalattioilla vastaava jänneväli voi olla enintään 6,5–9,5 m.

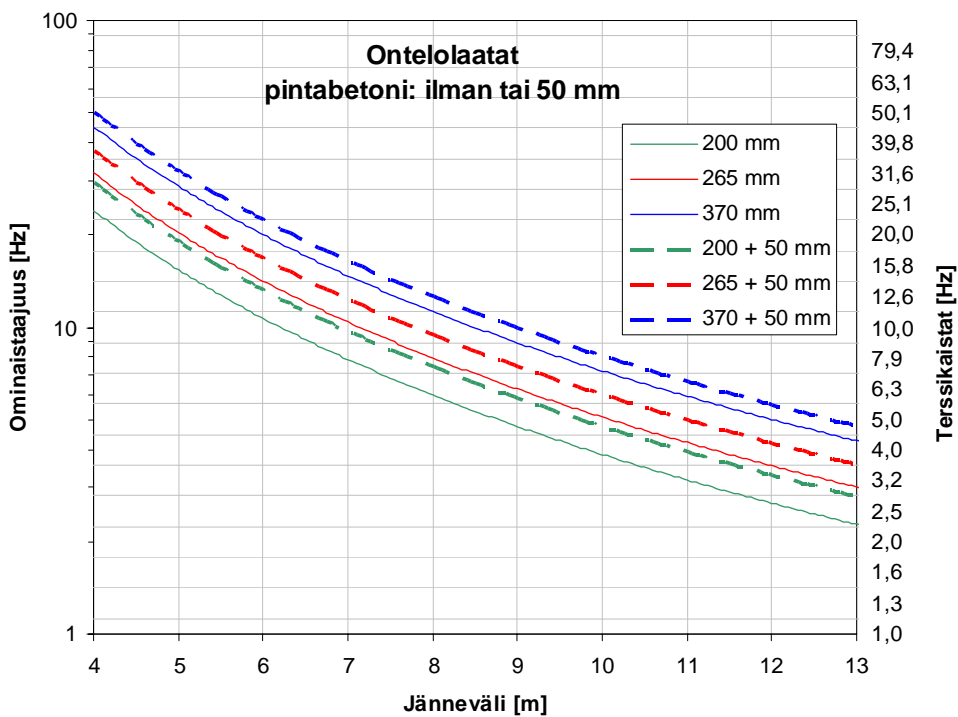
Mikäli värähtelysuunnittelussa pyritään taajuuskaistaa 5,0 Hz:n pienempään ominaistajuuteen, kuvia B1 ja B2 ei tule käyttää, vaan ominaistajuuden yläliikiarvo on arvioitava tarkemmilla laskentamenetelmillä. Esimerkiksi reunoiltaan tuetulla ja ontelolaatoista rakennetulla välipohjalla, jonka leveys on jännevälän suuruinen, ominaistajuus on suuruusluokaltaan noin 1,5-kertainen kuvassa B2 esitettyihin arvoihin nähden. Samanlaisella paikalla valetulla lattialla ominaistajuus voi olla jopa kaksinkertainen yksinkertaistetulla laskentakaavalla saatuun arvoon nähden.

Liite B: Esimerkkejä välipohjien ominaistajuuksista



Kuva B1. Puulattien ominaistajuuksien riippuvuus jännevälistä. Pintarakenteena on yläkuvassa harvalauditus ja kaksinkertainen kipsilevy, alakuvassa palkkeihin liimattu vanerilevy.

Liite B: Esimerkkejä välipohjien ominaistajuuksista



Kuva B2. Ontelolaattalattien ominaistajuuksien riippuvuus jännevälisestä.



Tekijä(t) Asko Talja		
Nimeke Ohjeita liikennetärinän arviointiin		
Tiivistelmä Liikenteen aiheuttama rakennuksen tärinä on liikennemelun kaltainen haitta ja se voi häiritä asumista sekä teiden että ratojen läheisyydessä. Liikennetärinän vaikutusten arviointi on nousemassa kaavoituksessa lähes yhtä tärkeäksi tekijäksi kuin liikennemelun vaikutusten arviointi on ollut tähän asti ollut. Siksi maankäytön suunnittelussa on noussut esiin tarve kehittää ja yhdenmukaistaa liikennetärinän arviointia. Julkaisussa ohjeistetaan, miten maaperän värähtely tulisi mitata, mitä tunnuslukuja mittaustuloksista tulisi määrittää, miten tulokset tulisi esittää ja miten mittaustuloksia voidaan hyödyntää sisätilojen tärinän arvioimisessa ja maankäytön suunnittelussa. Asuintiloihin siirtyvän tärinän arvioinnin lähtökohtana on rakennuspaikalta kolmiaksisiaalisesti mitattu maaperän värähtely ja sen taajuussisältö. Sen avulla arvioidaan perustukseen siirtyvä värähtely, jonka avulla arvioidaan rungon ja lattioiden värähtely. Rungon ja lattioiden värähtelyn arviointi perustuu kahteen eri lähestymistapaan, joista toinen tarkastelee värähtelyn tasaista voimistumista ja toinen värähtelyn voimistumista rakennuksen rungon tai lattian resonanssi-ilmiön vuoksi. Menetelmän avulla voidaan rakennuksen korkeus ja lattian jänneväli suunnitella siten, että maaperässä esiintyvää värähtely ei voimistu rakennuksessa resonanssi-ilmiön vuoksi. Esitetty yksinkertaistettu arviointimenetelmä on tarkoitettu alustavaan suunnitteluun, jota voidaan tarvittaessa tarkentaa kehittyneemmällä laskentamenetelmillä.		
ISBN 978-951-38-7685-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero 33452
Julkaisu-aika Tammikuu 2011	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 35 s. + liitt. 9 s.
Projektin nimi Liikennetärinän langaton mittaus- ja analysointiympäristö (VibPlat, 2009–2011)		Toimeksiantaja(t) Tekes, VTT, Liikennevirasto, 5 kaupunkia, 3 konsulttia
Avainsanat Traffic, vibration, traffic-induced vibration, land use, limit value, vibration design, magnification, resonance, frame, floor		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Author(s) Asko Talja		
Title Instructions for assessment of traffic vibrations		
<p>Abstract</p> <p>Traffic-induced building vibration is an environmental nuisance like traffic-induced noise and it may be felt disturbing close to roads and railways. Because the vibration assessment is playing more and more important role in planning of the land use, there is a strong need to develop and harmonise methods for vibration assessment. Especially the designers participating in the planning of land use need simplified models and tools for dealing with vibration.</p> <p>The publication gives guidelines for vibration measurements, for analysing the key figures from the measured data and for evaluation the building vibrations. The proposed vibration design of the building is based on triaxial ground vibrations measured on the building site. Thereafter the vibrations of building frame and floors are estimated based on the predicted vibrations of the building foundation.</p> <p>The vibration design of the frame and floors is based on two approaches; one considers the uniform magnification of the vibration and the other the magnification in the resonance. The approach makes it possible to design the height of the building and the spans of floors so that resonance does not magnify the vibrations. The proposed method for building vibration assessment is meant to provide an approximate estimate for the preliminary design phase. If necessary, it can be adjusted by performing a more detailed vibration study.</p>		
ISBN 978-951-38-7685-2 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 33452
Date January 2011	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 31 p. + app. 9 p.
Name of project Wireless sensor platform for monitoring environmental vibrations (VibPlat, 2009–2011)		Commissioned by Tekes, VTT, Finnish Transport Agency, 5 towns, 3 Finnish Transport Agencies
Keywords traffic, vibration, traffic-induced vibration, land use, limit value, vibration design, magnification, resonance, frame, floor		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Liikennetärinän vaikutusten arviointi on nousemassa maankäytön suunnittelussa yhtä tärkeäksi tekijä kuin liikennemelun vaikutusten arvionti on tähän asti ollut. Eri arvioijilla on kuitenkin erilaisia arviointikäytäntöjä, ja tilaajan on ollut usein vaikea tulkita niiden tuloksia. Julkaisussa on ohjeita arvioinnin helpottamiseksi ja yhtenäistämiseksi. Siinä kuvataan, miten maaperän värähtely tulisi mitata, mitä tunnuslukuja mittaustuloksista tulisi määrittää, miten tulokset tulisi esittää ja miten mittaustuloksia voidaan hyödyntää sisätilojen tärinän arvioimisessa ja maankäytön suunnittelussa.