

# Vantaa, Myyrmäki

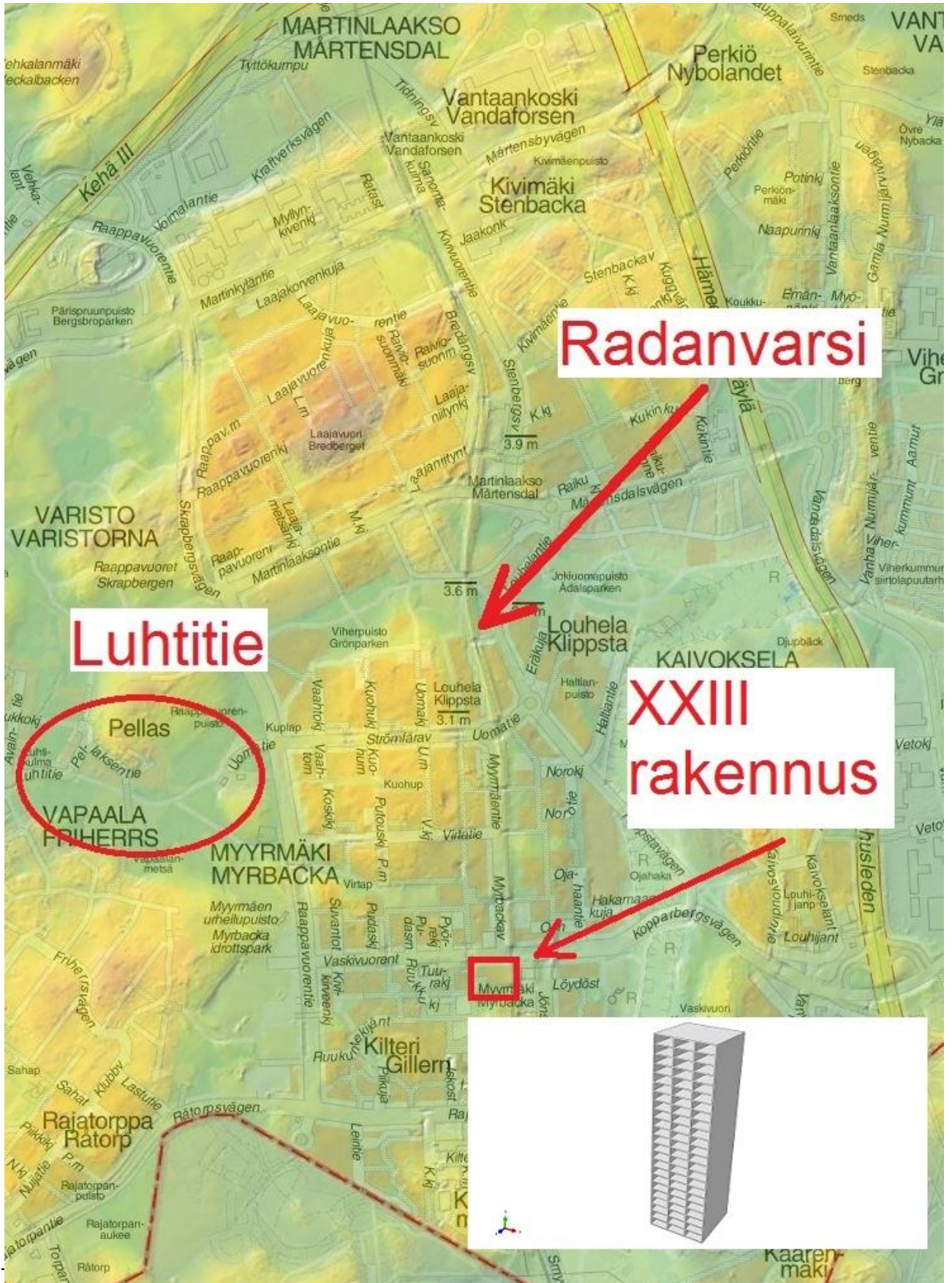
**Radanvarsi, junaliikenteen tärinät**

**Luhtitie, asfalttipintaisen tien vaikutus  
tärinään**

**Korkea rakennus, värähtelyanalyysi**

**Seloste tielinjauksen tärinäarvioinnista  
Versio 2.1, 20.6.2018**

**Myyrmäki – Radanvarren, Luhtien ja XXIII rakennuksen tärinä- ja värähtelyhavaintokohteen laskentaseloste**



**SISÄLLYSLUETTELO**

<b>1</b>	<b>YLEISTÄ.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>LÄHTÖTIETOJA.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>RADANVARSI, JUNALIIKENTEEEN TÄRINÄT .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>LUHTITIE, ASFALTTIPINTAISEN TIEN VAIKUTUS TÄRINÄÄN .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>KORKEA RAKENNUS, VÄRÄHTELYANALYYSI.....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>13</b>

## 1 YLEISTÄ

Tärinämittausten tavoitteena on Myyrmäen kohteessa ollut arvioida (1) radanvarren junaliikenteen tuottamien tärinän vasteiden laajuutta, (2) Luhtitien uuden tien vaikutusta tieosuudelle asetetun (40 km/h) nopeusrajoituksen tilanteessa sekä (3) radanvarren linjalle tehtävän korkean rakennuksen toimivuutta värähtelyn kannalta.

Tarkastelu on toteutettu empiirisen mallinnustiedon ja kirjallisuuteen perustuvan aineiston sekä numeerisen mallinnuksen avulla. Johtopäätökset on muodostettu saatujen havaintojen perusteella. Tarkastelun on laatinut Mauri Koskinen WSP Finland Oy. Mallinnuksessa käytetyn laskentaohjelmiston kaupallinen nimi on ABAQUS versio 6.16-1.

## 2 LÄHTÖTIETOJA

Liikenneperäisen tärinän ohjearvot perustuvat mitatun tärinän heilahdusnopeuden  $v$  taajuuspainotetun tehollisarvon perusteella tilastollisesti määritettyyn tunnuslukuun  $v_{w,95}$  [mm/s]. Suositus asuinrakennusten ja niitä vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksista (VTT Tiedotteita 2278, 2004) on esitetty taulukossa 1.

Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyä	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta ne eivät ole häiritseviä.	0,11...0,15
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	0,16...0,30
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.	0,31...0,60

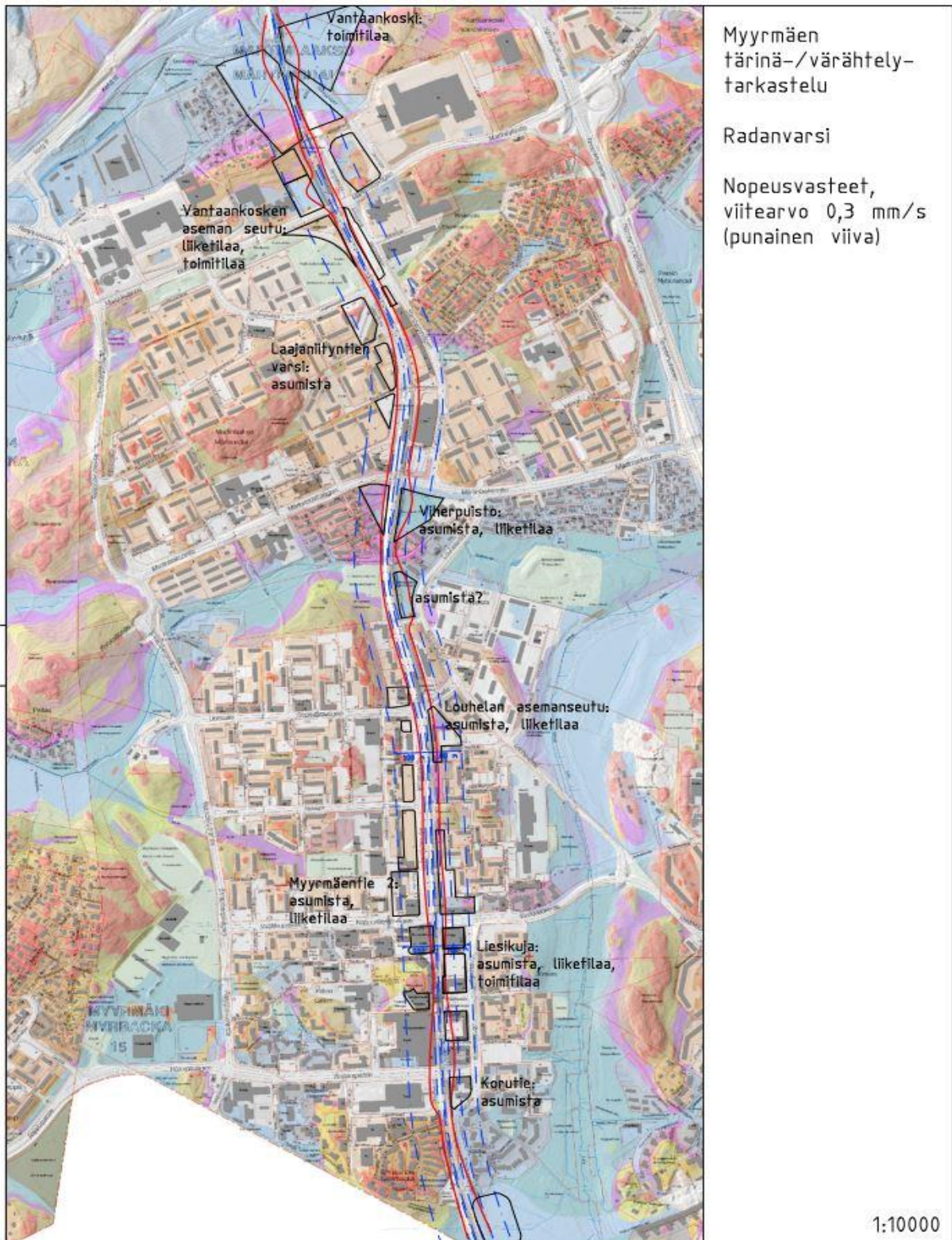
Taulukko 1. Suositus asuinrakennusten ja vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksista.

## 3 RADANVARSI, JUNALIIKENTEEN TÄRINÄT

Käsiteltävä ratalinja on osa Oikorataa ja kulkee Vantaan kaupungin alueella. Lähimmät asuin- ja toimistokäytössä olevat talot sijaitsevat vain muutaman kymmenen metrin etäisyydellä ratalinjasta. Alueita on pyrkimys uudistaa lähitulevaisuudessa.

Pohjasuhteet laskentaan on valittu saatavissa olleiden maaperätietojen perusteella. Laskennassa on käsitelty kohdittain paikalliset pohjasuhteet ja empiirisen, kirjallisen sekä laskennallisen tiedon pohjalta arvioitu vastaavassa kohdassa esiintyvä värähtelyn eteneminen. Kuvassa 1 on esitetty nopeusvasteen viitearvoa 0.3 mm/s vastaava linjausarvio. Siten linjauksen (punainen viiva) ulkopuolella vastearvot ovat tätä pienempiä ja linjauksen sisäpuolella korkeampia.

Myyrmäki – Radanvarren, Luhtitien ja XXIII rakennuksen tärinä- ja värähtelyhavaintokohteen laskentaseloste



Kuva 1. Radanvarren nopeuskomponenttien (pystysuunta) vastearviolinjaus,  $v = 0.3 \text{ mm/s}$ .

## 4 LUHTITIE, ASFALTTIPINTAISEN TIEN VAIKUTUS TÄRINÄÄN

Tarkasteluun on valittu kuvan 2 mukainen kohta Luhtitien (Pellaksen) alueella. Kyseisen tarkastelukohdan otaksutaan edustavan keskimääräistä ongelma-aluetta, jossa lähimmät asuinkäytössä olevat talot sijaitsevat vain muutaman kymmenen metrin etäisyydellä tielinjasta. Tätä varten on tehty arvio vaikutuksesta viereiseen OK-taloalueeseen, kuva 5.



Ehdotettuja tielinjauksia: A. Yleiskaavan mukainen linjaus. B. Eteläisempi linjaus. C. Isompi S-mutka.

D. Tien oikaisu Avaintieltä alkaen. E. Palstaviljelalueen eteläpuolelta kiertävä linjaus.

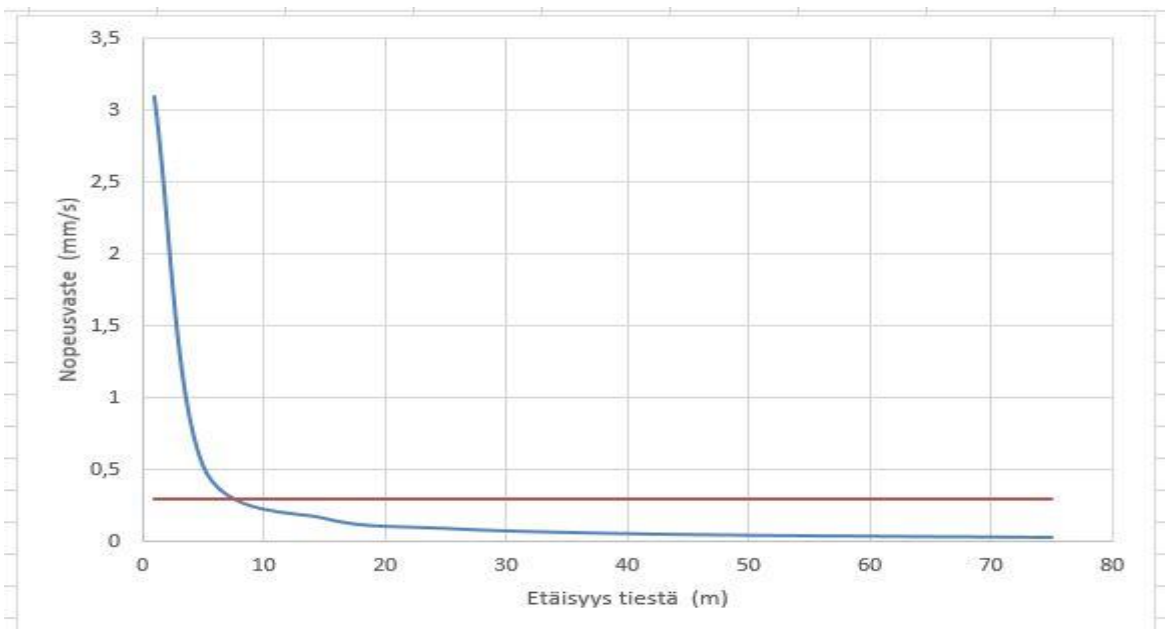
Kuva 2. Luhtitien tielinjauksien vaihtoehtoja.

Kuvassa 3 on esitetty määrittämissä periaatteissa tieajoneuvokaluston tuottaman tärinäenergian siirtymisestä ympäristöön. Kuva 4 edustaa kaavaryhmän sovellettua laskennallista tilannetta tasaisella uudella tiepinnalla.

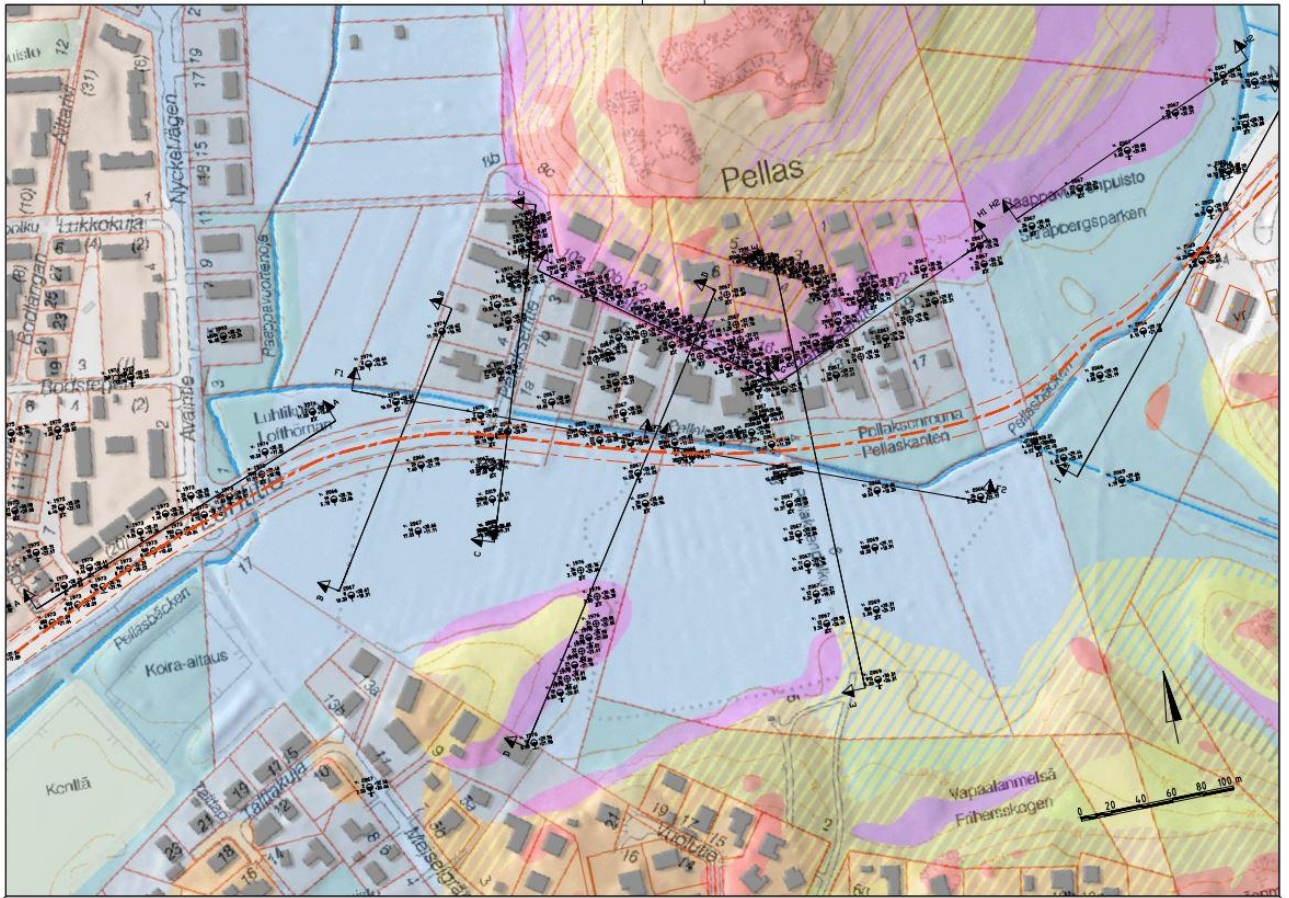
$$V_{z,max}=0,006 \cdot a \cdot v \cdot g \cdot p \cdot (r/6)^x \cdot M \quad (1)$$

- a epätasaisuuden suurin korkeus (mm) (taulukko 3.1)
- g maaperäkerroin (taulukko 3.2)
- p epätasaisuuden leveydestä riippuva kerroin (jos epätasaisuus osuu vain toisen pyörän alle p=0,75, muussa tapauksessa p=1,0)
- v ajoneuvon nopeus (km/h)
- r tarkastelupisteen etäisyys epätasaisuudesta (m)
- x maaperäeksponentti, joka ottaa huomioon värähtelyn vaimenemisen (taulukko 3.2)
- M suurenuskerroin maasta rakennukseen: Kerroin on 2,0 lukuun ottamatta seuraavia tapauksia, joille kerroin on 1,0:
  - Rakennuksen lattiat ovat maanvaraiset.
  - Rakennus on yksikerroksinen ja perustettu paaluille.
  - Rakennus on vähintään 5-kerroksinen.

Kuva 3. Arviointiperiaate tien ja hidasteen tuottamista tärinästä ympäristöön (Hidasteperäinen tärinä, Jetro Matilainen, Lappeenranta 2008).



Kuva 4. Arviointiperiaatteen (kaava 1) mukainen eksponentiaalinen vaste (pystysuunta), ruskea linja edustaa viitearvoa  $v = 0.3$  mm/s (VTT, 2004), uusi asfalttipintainen tie.



Kuva 5. Uuden asfalttipintaisen tien aiheuttamat tärinät Luhtitien ympäristössä, viitearvoa edustava linjaus. Peruslinjaus (punainen paksu katkoviiva) edustaa keskimäärin kuvan 2 linjausvaihtoehtoja A...C.

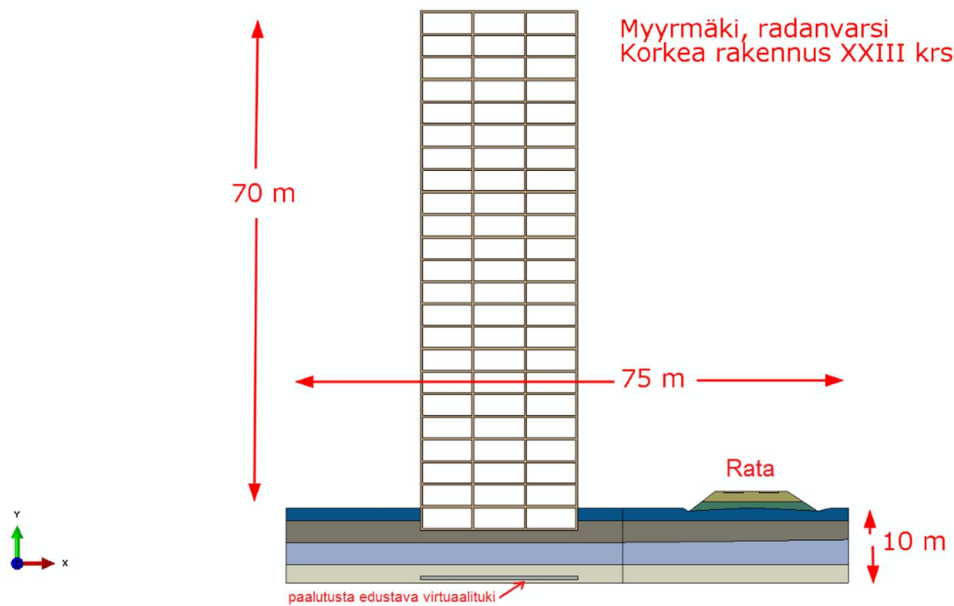
## 5 KORKEA RAKENNUS, VÄRÄHTELYANALYYSI

### 5.1 LASKENTAMALLI JA LÄHTÖTIEDOT

Laskennan mallipoikkileikkaus (kuva 6) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid –tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF –luku on 2 kpl solmua kohden (translaati vapausasteet). Mallin koko oli DOF = 24300. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Laskentamallin kokonaisleveys on 75 m ja korkeus 10 m ilman viereisen kerrostalon (H = 70 m) osuutta.

Mallinnetun talon runkojäykkyys on yksinkertaistettu kuvan 6 mukaiseksi. Rakenteet ovat betonia. Jäykistys oletetaan tapahtuvan hissikuilun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennukset on oletettu perustetuiksi tukipaalujen varaan. Mallin tukipaaluperustus on toteutettu muodostamalla elementaariset sidosyhtälöt rakennuksen alapinnan ja alimman maakerroksen virtuaalituen välille.





Kuva 6. Laskentamalli (2D) korkean rakennuksen ja ympäröivän maan yhteistoimintaan.

Analyysissä on parametreina käytetty muodonmuutosmodulia  $E$ , suppeumalukua  $\nu$  sekä materiaaliheyttä  $\rho$ . Lisäksi on sovellettu kerrosten vaimennuskertoimia  $\alpha$  ja  $\beta$ , jotka on arvioitu perustuen 5 % kokonaisvaimennusoletukseen sekä massan ja jäykkyyden keskinäiseen jakaumaan 1/3 ja 2/3, vastaavasti.

Lujuusparametreja (myötöehto) ei ole määritetty dynaamisessa analyysissä pienten muodonmuutostasojen vuoksi. Laskentaohjelman käyttämät aallonnopeudet tulevat määritetyiksi ohjelmassa elastisten moduulien ja massatiheyksien perusteella (esim.  $v_p = (E / \rho)^{1/2}$ ).

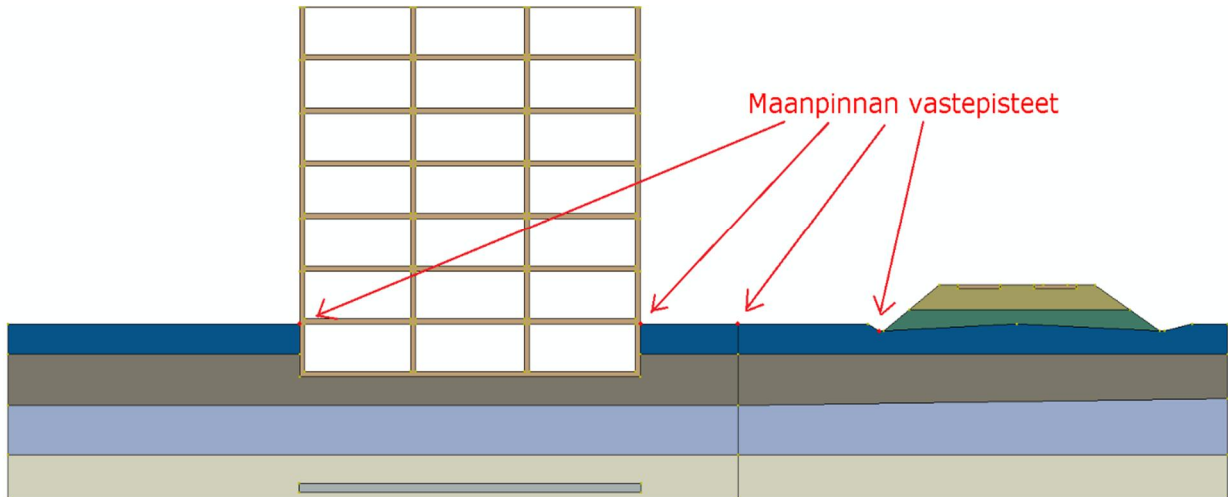
Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia ”pakkovärähtelyanalyysijä”. Mallissa, jonka materiaalikäyttäytyminen on lineaarista, on elementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa tärinän aallonpituutta. Tärinän vasteita on havainnointu maanpinnan tasolla yhdessä pisteessä ja rakennuksen eri kerroksissa.

Dynaamisessa analyysissä kytkettiin rakenteen kiskoja kuvaaviin solmuihin arvioidun tärinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennoissa käytetty kuorman amplitudi saatiin empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon lovipyöräefektin hallitseva osuus. Koko laskennan ajaksi valittiin 1 sekunti.

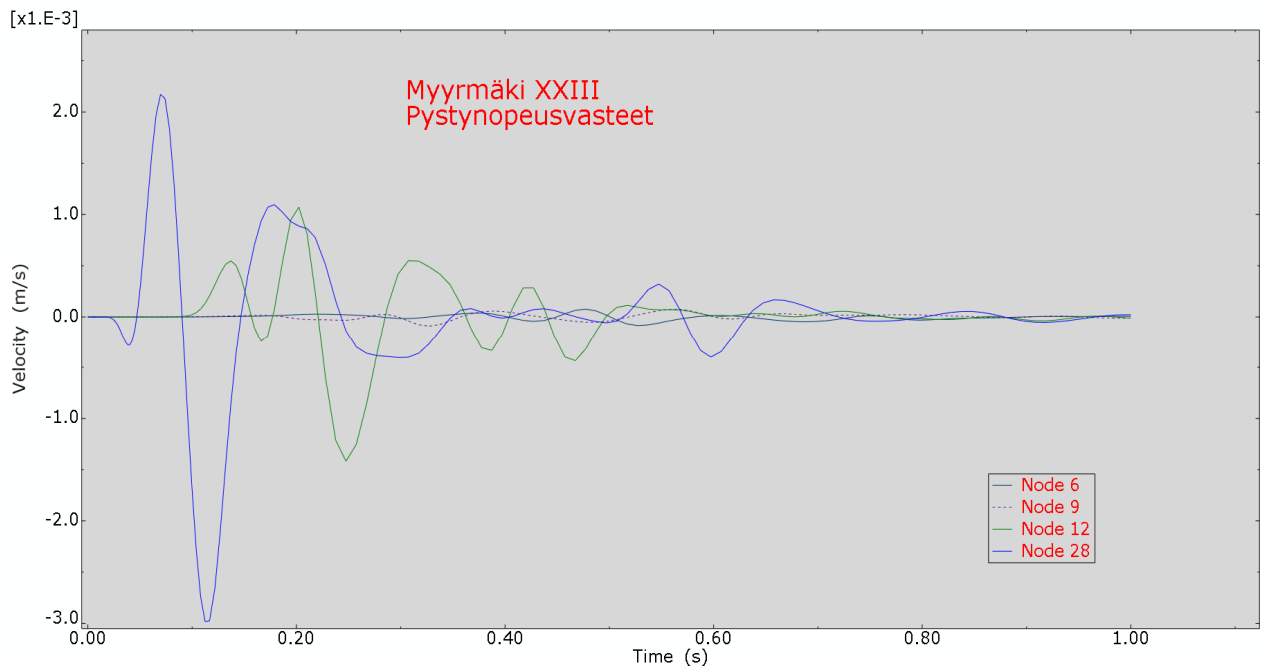
## 5.2 TULOKSISTA

Radasta aiheutuvan nopeusvasteen tuottamat pystynopeuden komponentit tietyissä maapisteissä (kuva 7) on esitetty kuvassa 8. Kuva 9 esittää rakennuksen eri korkeudella arvioidut vaakasuuntaiset nopeuskomponentit. Nämä alittavat ohjeelliset viitearvot

asumismukavuuden suhteen. Kuvassa 11 esitetyt ominaistajuuksien alimmat arvot kuvastavat vaarallisimpia ominaismuotoja resonanssin (vrt. määritysperiaate, kuva 10) suhteen. On kuitenkin pääteltävissä, että radan liikenne ei muodosta riittävän pitkää ja energialtaan korkeata herätettä näiden ominaismuotojen heräämiseksi.

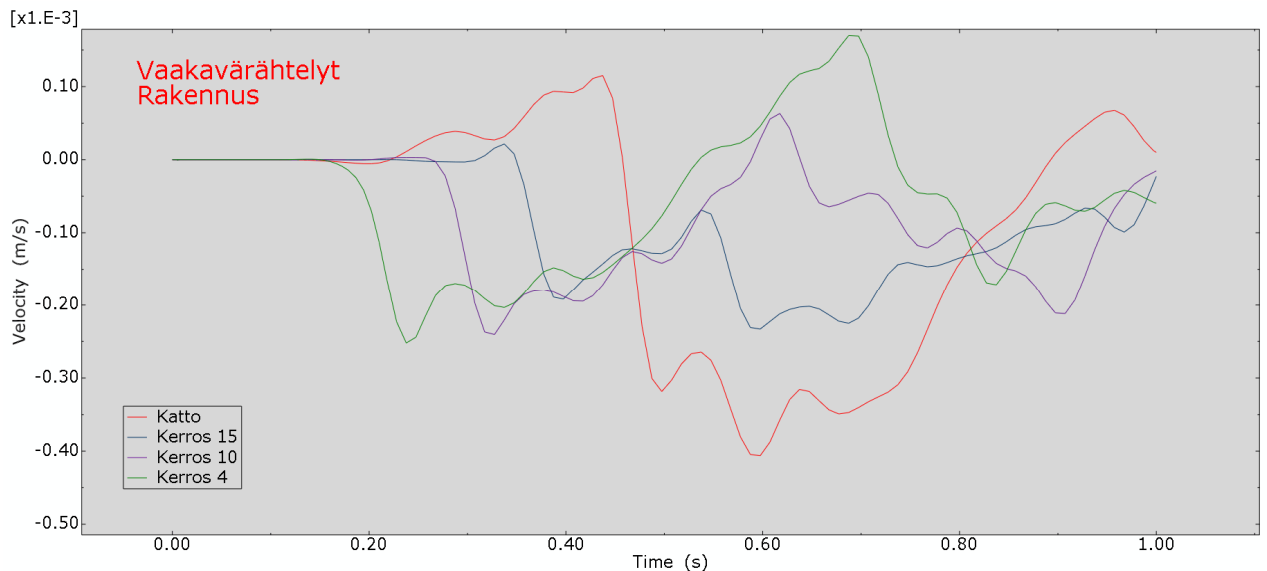


Kuva 7. Nopeusvasteiden arviointikohtat (2D), kuvan pisteet vasemmalta oikealle ovat 6, 9, 12 ja 28.



Kuva 8. Nopeusvasteet pystysuunnassa arviointikohtissa, maapisteen (2D).

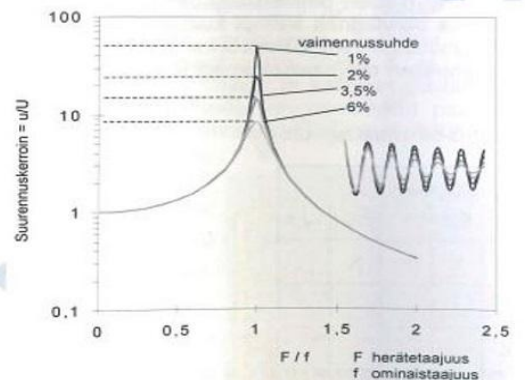
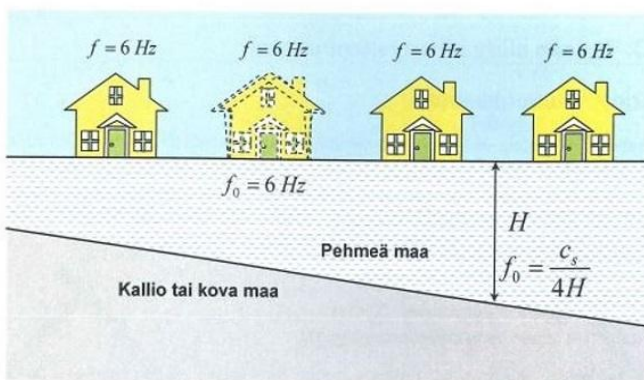
Ominaisaajuudet ja –muodot määritetään dynaamisissa analyyseissä rakenteellisen systeemin resonanssitilanteen selvittämiseksi. Resonanssitilanteessa systeemi menettää rakenteellisen toimintakykynsä. Useimmiten kuitenkin junaliikenteen tuottama resonanssitilanne vaatii pitkähkön raskaan kaluston muodostaman syklistarjan (10...15 toistuvaa harmonista herätettä). Kuva 11 esittää tässä tutkimuksessa tarkastellun systeemin muutamia alimpia ominaisaajuuksia. Voidaan havaita, että epäedullisimmat tilanteet muodostuvat korkealla rakennuksella vaakasuuntaisiin värähtelyihin. Useimmissa rakennesysteemeissä riittää 10 alimman ominaisaajuuden määrittäminen. Tässä tapauksessa nämä ovat suhteellisen alhaisia (ks. kuva 11) eli asettuvat välille 1...4 Hz. Rakennuksessa vaakasuuntaisten värähtelyjen taajuuudet ovat luokkaa 10...15 Hz (kuva 9).



Kuva 9. Vaakavärähtelyt rakennuksessa (2D).

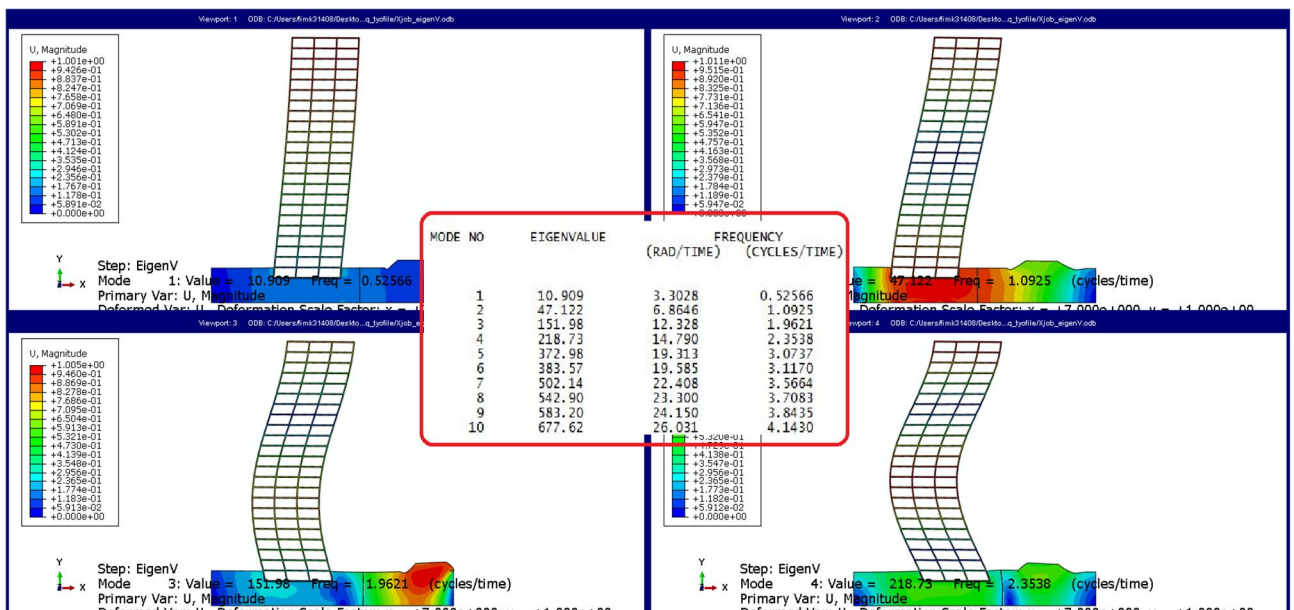
## Dynaaminen suunnittelu pohjarakentamisessa - ominaistaajuus ja ominaismuodot

Resonanssi: systeemin ominaistaajuus = herätetaajuus



13 29.5.2018

Kuva 10. Periaate resonanssin huomioimiseen dynaamisessa analyysissä.



Kuva 11. Eräitä alimpia ominaismuotoja ja -taajuuksia maa-rakennesysteemistä (2D).

Tarkastelupisteen sijainnin suhteen voidaan nopeuksien pystykomponenttien kuvaajista (kuva 3) havaita, että ne pienenevät luonnollisesti etäisyyden kasvaessa kuormituspisteestä. Rakennuksen kohdalla pystykomponentit, joista sovelletaan ns. tehollisarvoa (noin 50...60 % tässä lasketuista enimmäisarvoista), ovat riittävän pieniä luokituksen saamiseksi luokkaan C. Nopeudet ovat suurimmillaan kuormituspisteessä, jossa pystykomponentit ovat luonnollisesti hallitsevia. Pääosin inertiavaikutuksista johtuen havaitaan myös maamassan aaltoilua. Kauempana herätekohdasta havaitaan vaakasuuntaisten komponenttien suhteellisen osuuden selkeää kasvua.

## 6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### Yleistä

Tässä tarkastelussa on arvioitu tehtävämäärittelyn mukaisesti ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa ja vaimentumista radan (Kehärata Vantaan alueella) ja tien (Luhtitien alue) läheisyydessä. Pyrkimyksenä on ollut tarkastella (1) hyväksyttävä tärinän taso ( $v=0.3$  mm/s) radanvarren linjalla, (2) Luhtitien uuteen linjaukseen suunnitellun tien normipinnan ja toisaalta hidastinkorokkeen vaikutusta viereiseen asuinalueeseen sekä (3) Vaskivuorentien ja radan liittymäkohtaan tulevan korkean rakennuksen värähtelyä suhteessa hyväksyttävään tasoon.

Tulokset laskennasta ilmentävät vain kuorman dynaamista osaa. Edelleen voidaan todeta, että tärinän luonnollinen vaimeneminen etäisyyden kasvaessa herätepisteestä oli laskentatapauksissa selkeästi havaittavissa.

Herätteen osalta on sovellettu vain yhtä mallia eikä herkkyyksianalyysiä tämän suhteen ole tehty lähtötietojen puutteellisuuden vuoksi. Todellinen heräte radoilla ja teillä muodostuu kohinana kompleksisen systeemikonaisuuden (tierakenne – ajoneuvorakenne – akselirakenne yms.) tuottamana eri harmonisten värähtelyjen sekamuotosarjana.

### Radanvarsi

Radanvarren nopeuskomponenttien (pystysuunta) vastearviolinjaus,  $v = 0.3$  mm/s, antaa käsityksen siitä, mille etäisyydelle voidaan toteuttaa asuinkäyttöön tarkoitettavaa rakennuskantaa. On kuitenkin huomioitava, että laskennoissa on sovellettu lovipyöräherätettä, joka tuottaa joissakin tapauksissa 5...10 kertaisen impulssin normikalustoon nähden.

### Luhtitie

Voidaan arvioida, että normikuntoisella tiellä alueen nopeusrajoitus (40 km/h) on sopiva, mutta toisaalta selkeä yläraja. Hyväkuntoisella uudella tiepinnalla ei tärinäongelmaa ole ympäristön suhteen.

Laskennan perusteella ei ensisijaisesti esitetä käytettäväksi hidastinkoroketta, vaikka näin voimistettaisiin ylinopeuksien rajoittamista. Vaimennusratkaisuja ei ole tutkittu tässä yhteydessä. On kuitenkin mahdollista, että vaimennusratkaisut toimisivat osittain myös runkomelun vaimennusratkaisuuina.

### **XXIII rakennus**

Korkeat rakennukset perustetaan pääsääntöisesti kallion tai tukipaaluperustuksen varaan. Tällöin pystysuuntaiset värähtelyt hoituvat lähes automaattisesti hyväksyttävään tasoon. Suurin vaara korkeassa rakennuksessa on yläosien vaakasuuntaiset värähtelyt. Nämä ovat kuitenkin tässä 2D-arviossa alle viitearvojen.