



**Tampereen  
Ratikka**

Tärinäselvitys

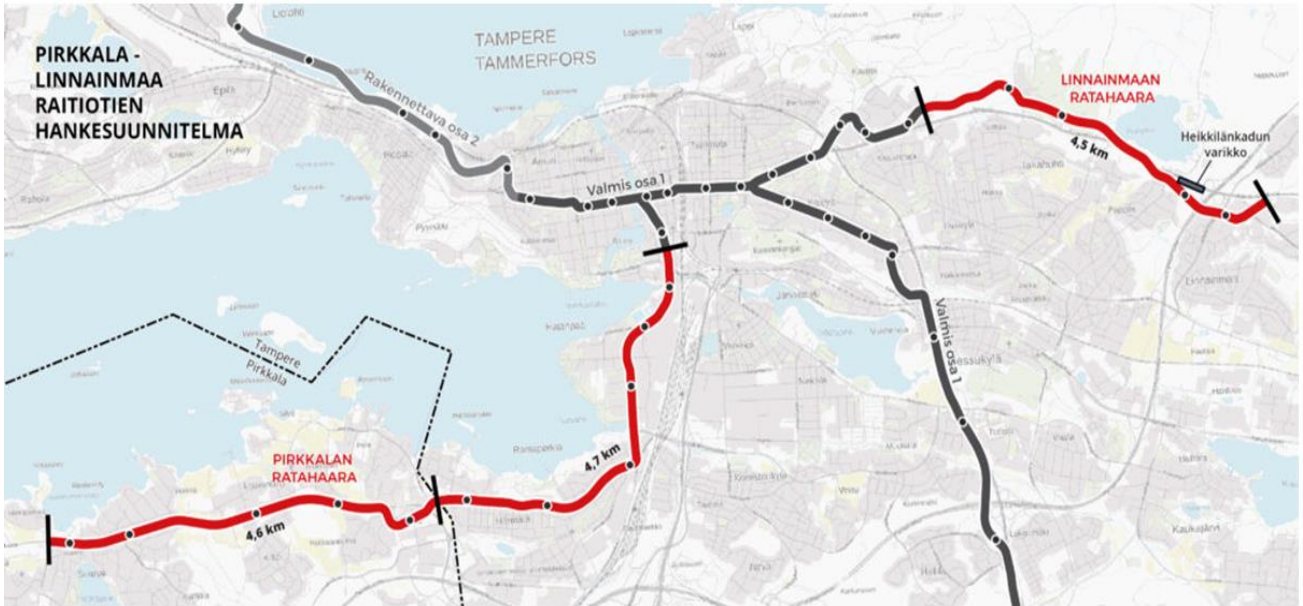
Mauri Koskinen  
WSP Finland Oy

Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma

6.2.2023

## VERSIOHISTORIA

<b>Versio</b>	<b>Päiväys</b>	<b>Muokkaaja</b>	<b>Muutoksen kuvaus</b>
<b>1</b>	7.2.2023	Ilkka Niskanen	Ohjausryhmältä saadut kommentit otettu huomioon korjauksissa ja täydennyksissä, raporttia täydennetty liitteellä 1



Kuva 1. Hankesuunnitelman ratahaarojen sijoittuminen ja pituudet (punaisella merkityt ratalinjaukset).

## Sisällys

1	Yleistä .....	5
2	Lähtötietoja.....	5
3	Kiskoliikenteen tärinät .....	7
4	Tarkasteltavan alueen kuvaus .....	8
4.1	Yleistä .....	8
4.2	Eritellyt osuudet ja kriteerit .....	9
5	Numeerinen FEM-analyysi .....	12
5.1	Tärinälaskenta, Linnainmaan ratahaara .....	13
5.2	Tärinälaskenta, Pirkkalan ratahaara .....	16
6	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	20
7	Kirjallisuutta.....	22

Liite 1. Tärinälle lievästi kriittiset raitiotieosuudet Linnainmaan ja Pirkkalan haaralla.

# 1 Yleistä

Tämän tarkastelun tavoitteena on arvioida Pirkkala-Linnainmaan ratahaarojen raitiotielinjausten raitiovaunuliikenteen värähtelyvaikutuksia alueen rakennuskantaan. Hankkeen tilaajana on Tampereen kaupunki ja Pirkkalan kunta. Kaavaillun linjauksen lähiympäristön nykytila selvitetään rakennusten ja asukkaiden kannalta siten, että mahdolliset ongelmakohteet värähtelyn ja värähtelyn kannalta voidaan tunnistaa. Tämän tarkastelun alaisen linjauksen pituus Pirkkalan ratahaaralla on 9.3 km ja Linnainmaan ratahaaralla 4.5 km.

Raitiotieliikenteen värähtelyvaikutusten arviointi perustuu tässä osaltaan muissa projekteissa tehtyjen vastaavien värähtelymittauksien tuloksiin. Arvioinnissa otetaan huomioon maaperän ominaisuudet ja raiteiden etäisyys rakennuksista. Arviointi perustuu tiedossa olevaan maaperäaineistoon. Selvityksen tekijän käytössä on maaperätiedot, jotka on tuotettu yhdessä WSP:n ja Ramboll Oy:n toimesta. Värähtelyn vaikutusarvioinnin tuottamiseksi kohteessa on tehty numeerista laskentaa.

TkT Mauri Koskinen WSP:stä on laatinut raportin.

## 2 Lähtötietoja

Liikenneperäisen värähtelyn ohjearvot perustuvat mitatun värähtelyn heilahdusnopeuden  $v$  taajuuspainotetun tehollisarvon perusteella tilastollisesti määritettyyn tunnuslukuun  $v_{w,95}$  [mm/s]. Suositus asuinrakennusten ja niitä vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksesta (VTT Tiedotteita 2278, 2004) on esitetty taulukossa 1. Luokitus perustuu ihmisen kokeman värähtelyn häiritsevyyteen. Kun kyseessä on muu kuin asumistarkoitus, tavoiteraja voi olla kaksinkertainen.

Taulukko 1. Suositus asuinrakennusten ja vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksesta (VTT 2006).

Värähtelyluokka	Kuvaus olosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. <i>Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,60$

Rakenteiden perustusten vaurioalttiutta kuvataan taulukon 2 luokituksella. Esitettyjä raja-arvoja pienempien värähtelytasojen ei katsota aiheuttavan rakennuksen käyttöarvoa pienentäviä vaurioita.

Taulukko 2. Rakennusten perustusten vaurioalttiuden rajaamisessa käytettävät kriteerit (VTT 2001).

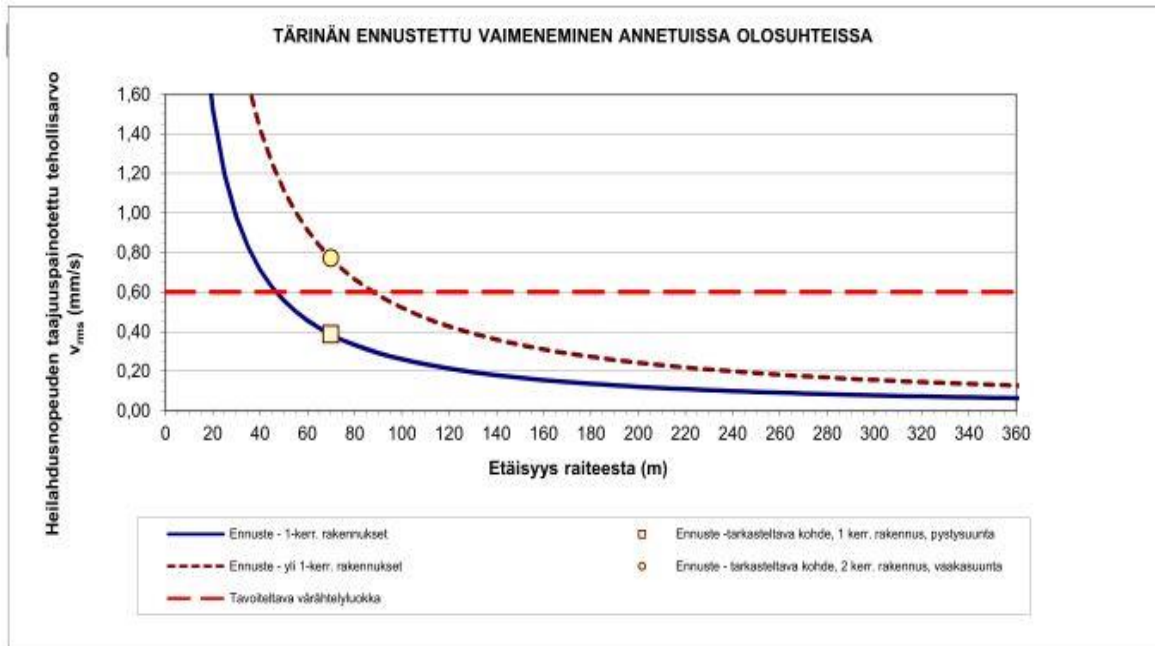
Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	Heilahdusnopeuden huippuarvo $v_{max}$ [mm/s]	Tunnusluku $v_{rms,95}$ [mm/s]
V	Kohonneen tärinäalttiuden alue <i>Rakenteiden vauriot mahdollisia</i>	$\geq 3,0$	$\geq 5,0$
H	Vähäisen tärinäalttiuden alue <i>Rakenteiden haitat mahdollisia</i>	$\leq 3,0$	$\leq 5,0$
E	Rakenteiden vaurioriski epätodennäköinen	$\leq 1,0$	$\leq 1,6$

Tärinän tuottamaa haittaa asumismukavuudelle arvioidaan olemassa olevien rakennusten osalta värähtelyluokan D ( $v_{w,95} \leq 0,60$  mm/s) mukaan ja uudet kaavoitettavat asuinalueet värähtelyluokan C ( $v_{w,95} \leq 0,30$  mm/s).

### **3 Kiskoliikenteen tärinät**

Liikennetärinä voi olla häiritsevää asuinrakennuksissa sekä esimerkiksi julkisissa tiloissa, joissa on tärinäherkkiä laitteistoja. Tärinää koskevien valitusten lisääntyminen voi olla seurausta esimerkiksi liikenteellisistä muutoksista ja radan rakenteissa tapahtuneista muutoksista sekä myös ilmastollisista sääolosuhteista, kuten roudasta ja pohjaveden pinnan muutoksista. Tärinäriskiä pidetään yleensä suurehkona, mikäli maaperä koostuu pehmeistä maalajeista tai löyhistä kerroksista, kun pohjavesi on läsnä. Tärinän aiheuttamat haitat ovat paikallisesti mahdollisia myös karkearakeisilla maa-alueilla sijaitsevissa rakennuksissa, jos ne sijaitsevat kaltevien maakerrosten päällä tai kalliosta tapahtuvien heijastusten vaikutusalueella.

Tärinän leviäminen ympäristössä tärinän aiheuttajasta on mahdollista arvioida alustavasti esimerkiksi oheisen kuvan 1 mukaisella mallilla. VTT:n ohje ”Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa” /1/ esittää tällaisten ennustekäyrien arviointiperiaatetta.



Kuva 2. Esimerkki tavarajunan aiheuttaman voimakkaan tärinän leviämisestä tärinälähteestä ympäristöön.

## 4 Tarkasteltavan alueen kuvaus

### 4.1 Yleistä

Linjaus (ks. aloitussivu) koostuu tämän tehtävän osalta Tampereella Linnainmaan ja Pirkkalan ratahaaroista. Tasaus (Kv) vaihtelee Linnainmaan ratahaaran osalta tasolla + 105 ... + 120 ja Pirkkalan ratahaaran osalta tasolla + 80 ... + 105. Maanpinnan korkeus vaihtelee kohdittain tästä. Pirkkalan raitiotiehaaran varrella on runsaasti olemassa olevaa rakennuskantaa, Linnainmaan haaralla raitiotielinjauksen varrelle kaavoitetaan parhaillaan tiivisyä asuinalueita. Olemassa olevia rakennuksia tai kaavoitettuja alueita on sijoitettu lähimmillään noin 20 m etäisyydelle radasta (lähin raide).

Raitiolinjausten läheisillä katuosuuksilla on kaksisuuntaista tieliikennettä. Nopeusrajoitus vaihtelee välillä 40 ... 60 km/h. Ajoratojen kunto on keskimäärin hyvä.

Raideliikenteen osalta yleensä uusille asuinrakennuksille hyväksyttävä värähtelyluokka täyttyy siirtialueilla liikerakennuksissa yli 50 m etäisyydellä ja korkeampien rakennusten osalta 90 m etäisyydellä. Arvioidut värähtelyn tunnuslukujen etäisyydet ovat karkeasti 0.6 mm/s 35 m ja 0.3 mm/s 50 m. Merkittävin taajuusalue pehmeiköillä on /4/ noin 5 ... 15 Hz, mutta voi nousta huomattavasti korkeammaksikin (< 50 Hz). Todennäköisesti pystyvärähtely on keskimäärin määräävä. Jos



savikerroksen paksuus ei ole suuri, tulee merkittäväksi tekijäksi kohdittain perustamistapa, rummut jne. Savikerroksen paksuuntuessa sen kerrosominaisuudet merkitykseltään kasvavat. Selvitysalueen pohjamaan suhteen on tärinän kannalta ongelmallisinta savialueet. Pehmeikköjen osalta (savi, siltti, löyhä hiekka) tulee tehdä pohjavahvistuksia (stabilointi, paalutus, massanvaihto, paalulaatta), jolloin tärinäenergian siirtyminen lievenee.

## 4.2 Eritellyt osuudet ja kriteerit

Tarkastelun tuloksena esitetään tärinän kannalta kriittisiksi arvioidut rataosuudet. Kriteereinä liitteiden esitykselle ovat ympäristön rakennuskanta, suunniteltu pohjanvahvistus, etäisyys rakennuksiin ja pohjasuhteiden laatu.

Kohde on määritelty tärinän kannalta kriittiseksi, kun

- raitiotien suunnittelussa osuudelle ei ole esitetty pohjanvahvistusta
- maaperässä on yli 5 m pehmeä kerros tai
- maaperässä on yli 3 m pehmeä kerros painokairauksen ollessa yli puolet painon puolella
- värähtelyn arvioidaan ylittävän 0,3 mm/s (tehollinen rms-arvo  $v_{w,95}$ )
- etäisyys asuinrakennuksiin on alle 40 m

Kohde on määritelty tärinän kannalta lievästi kriittiseksi, kun

- raitiotien suunnittelussa osuudelle on esitetty pohjanvahvistus (koodi [sininen](#))
- maaperässä on yli 5 m pehmeä kerros tai
- maaperässä on yli 3 m pehmeä kerros painokairauksen ollessa yli puolet painon puolella
- värähtelyn arvioidaan ylittävän 0,6 mm/s (tehollinen rms-arvo  $v_{w,95}$ )
- etäisyys asuinrakennuksiin on yli 40 m

Seuraavassa listauksessa on esitetty linjauksen kmv-välit tärinäalttiuden suhteen. Näiden kriittisyys perustuu yllä mainittuihin kriteereihin. Tässä yhteydessä todetaan kuitenkin, että paalulaatoitus hoitaa pääosin herätelinjalla olevan pystykomponentin tärinän osalta. Näin ollen vaakasuunnassa etenevä energia-aalto muodostaa kohdittain ongelmallisen värähtelyn etenemän. Vaikka energia siirtyy paalujen välityksellä kovaan pohjaan ja sieltä takaisin heijastumalla, on pallogeometrinen vaimenema kuitenkin selkeä. Linjaukselle esitetyt pohjanvahvistustoimenpiteet on muodostettu lähinnä painumien tai vakavuusongelmien johdosta.

Kaikille kriittiseksi luokituille raitiotieosuuksille on esitetty pohjanvahvistusmenettelyjä, jotka tulisivat vaimentamaan raitovaunuliikenteen aiheuttaman värähtelyn etenemistä ratarakenteessa.

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty tärinän suhteen lievästi kriittiset raitiotielinjauksen osuudet. Raportin liitteessä 1 on esitetty nämä osuudet karttaan merkittyinä.

*Taulukko 3. Tärinävaimennuksen tarvesuositus (Linnainmaan ratahaara) on alustavasti seuraavasti (fontattu teksti).*

<b>Paaluväli</b>	<b>Pohjanvahvistustoimenpiteet</b>	<b>Kriittisyys</b>
0...280		ei kriittinen
280...400	massanvaihto	lievästi kriittinen
400...560		ei kriittinen
560...620	massanvaihto	lievästi kriittinen
620...740		ei kriittinen
740...890	massanvaihto	lievästi kriittinen
890...1050		ei kriittinen
1050...1190	massanvaihto	lievästi kriittinen
1190...1280		ei kriittinen
1280...1330	massanvaihto	lievästi kriittinen
1330...1380		ei kriittinen
1380...1440	betoniarina	lievästi kriittinen
1440...1730	paalulaatta	lievästi kriittinen
1730...1820	massanvaihto	lievästi kriittinen
1820...1910		ei kriittinen
1910...1960	massanvaihto	lievästi kriittinen
1960...2120		ei kriittinen
2120...2190	massanvaihto	lievästi kriittinen
2190...2260		ei kriittinen
2260...2330	massanvaihto	lievästi kriittinen
2330...2360	paalulaatta	lievästi kriittinen
2360...3280		ei kriittinen
3280...3400	betoniarina	lievästi kriittinen
3400...4150		ei kriittinen
4150...4220	massanvaihto	lievästi kriittinen

*Taulukko 3. Tärinävaimennuksen tarvesuositus (Pirkkalan ratahaara) on alustavasti seuraavasti (fontattu teksti).*

<b>Paaluväli</b>	<b>Pohjanvahvistustoimenpiteet</b>	<b>Kriittisyys</b>
0...360		ei kriittinen
360...980	betoniarina	lievästi kriittinen
980...2050	paalulaatta	lievästi kriittinen
2050...4500		ei kriittinen
4500...5500	paalulaatta	lievästi kriittinen
5500...7500		ei kriittinen
7500...7900	betoniarina	lievästi kriittinen
7900...9290		ei kriittinen

## **5 Numeerinen FEM-analyysi**

Tarkastelun tuloksena on arvioitu ympäröivään rakennuskantaan kohdistuvien värähtelyn vaaka- ja pystysuuntaisten vastekomponenttien kehittymistä. Tarkastelun perusteella on löydetty kriittiset paaluvälit, joista on tehty erityistarkasteluja (dynaamisia FEM-analyysejä). Tällöin tyypillisissä tarkkailupisteissä, joita on kunkin kerroksen tasalla edustavissa pisteissä, on määritetty ko. komponentteja haitallisen värähtelyn vaikutusten arvioimiseksi.

Suunnittelualueeseen kohdistuvaa tärinää on tarkasteltu FEM-laskennan tulosten perusteella. Laskennallisessa tarkastelussa tärinän herätteen (lähtötaso) värähtelytaso on arvioitu raiteilla liikennöivän vaunun akselipainon ja nopeuden perusteella.

Värähtelyn etenemisen laskennassa on otettu huomioon alueen maaperäolosuhteet, rakennusten perustamistapa, mallinnetun rakennuksen ominaisuudet ja tarkasteltavan pisteen korkeusasema (kerros) suunnitellussa rakennuksessa. Laskennassa ei ole huomioitu kaluston ns. lovipyöräherätettä, joka voi aiheuttaa normaalia voimakkaampia tärinän lähtötasoja, jolloin niiden vaikutus voi olla 5...10 kertainen normaalin kaluston aiheuttamaan herätteeseen verrattuna.

Pohjasuhteiden arvioinnissa on käytetty alueen maaperätietojen perusteella muodostettua geoteknistä poikkileikkausta. Maaperätiedot ilmenevät kuvista 4 ja 5 sekä 10 ja 11.

Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia ”pakkovärähtelyanalyysejä”. Mallissa materiaalikäyttäytyminen on lineaarista ilman myötöehtoa. Laskentaelementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa tärinän aallonpituutta. Tärinän vasteita on havainnoitu rakennuksen eri kerroksissa.

Dynaamisessa analyysissä raitiotien kiskoja kuvaaviin solmuihin kytkettiin arvioidun tärinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennassa käytetyn kuorman amplitudi on saatu empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon akselipaino. Laskennan aikajaksoksi valittiin 1 s, koska vasteen suppeneminen on tällöin jo havaittavissa. Nopeutena käytettiin 40 km/h ja akselipainoa 13 tonnia. Laskentatilanteessa kuorma on molemmilla raiteilla.

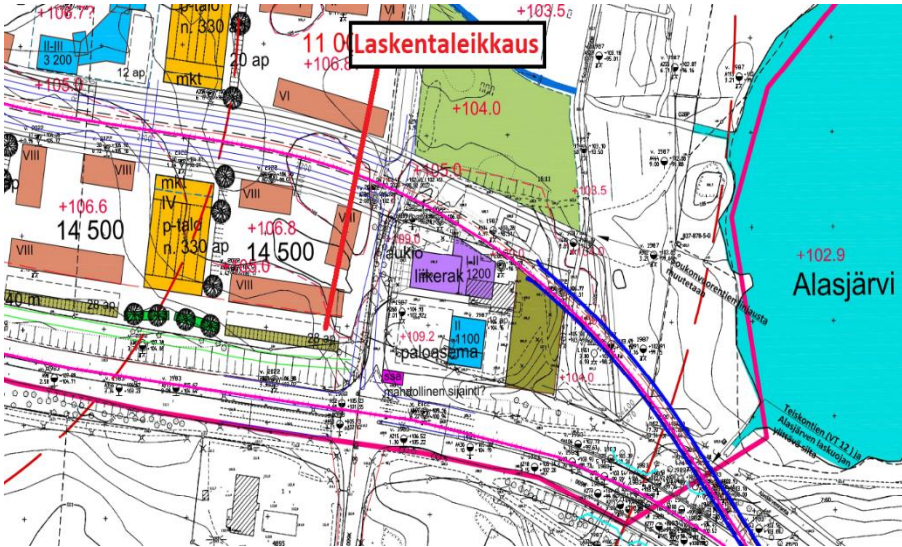
Laskennan mallipoikkileikkaus (yksinkertaistettu runkojäykkyys) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid –tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF –luku on 2 kpl solmua kohden (translaatiovapausasteet). Mallien koot olivat välillä DOF = 34500 ... 54300. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Rakennusten jäykistyksen oletetaan tapahtuvan hissikulun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennukset perustetaan paaluille. Rakennusrunko on mallinnettu ekvivalenttisena (tiiliverhous huomioiden) betonimateriaalina. Rakennusrunkoihin on oletettu tehtäväksi kellarikerros.

Rakennuksen massa vaikuttaa tärinän etenemiseen ja vaimenemiseen. Värähtelyn vaimeneminen on vähäisempää ja tärinän heilahdusnopeudet suurempia betorunkoisessa kerrostalossa, jossa ei ole kellarikerrosta, verrattuna vastaavan kokoiseen betonirunkoiseen kerrostaloon, jossa on kellarikerros. Myös vastaavan kokoisessa puurakenteisessa kerrostalossa värähtelyn vaimeneminen on vähäisempää kuin betonirunkoisessa kerrostalossa.

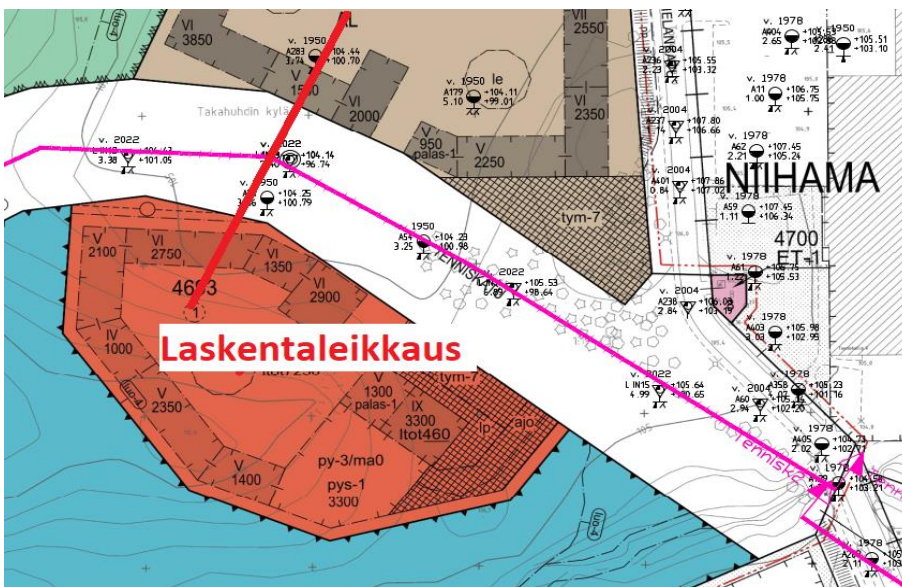
## **5.1 Tärinälaskenta, Linnainmaan ratahaara**

Tärinälaskentaan on valittu kuvien 3 ja 4 poikkileikkaukset. Kuvan 3 poikkileikkauksen kohdalla alueen maakerrokset ovat kuvan 5 mukaiset. Kuvan 4 poikkileikkauksen kohdalla alueen maakerrokset ovat kuvan 6 mukaiset.

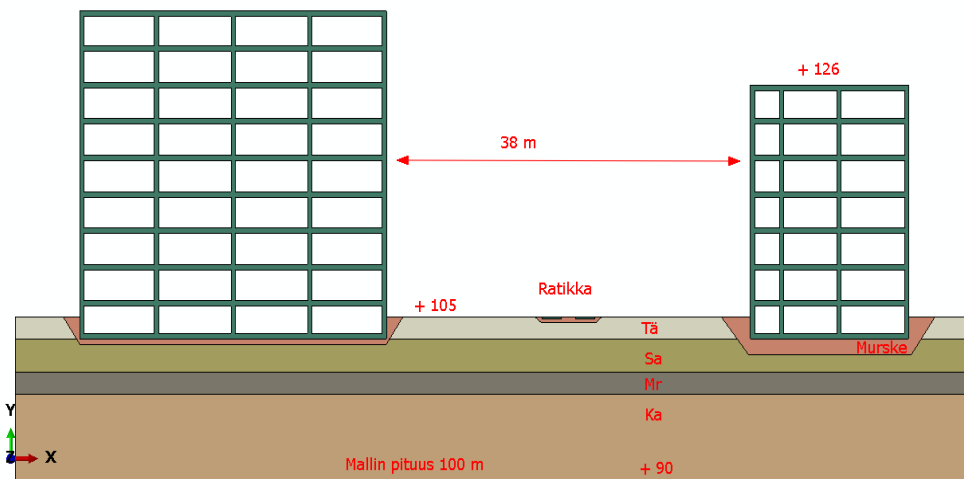
Kuvassa 7 on esitetty laskennan mukaiset dynaamiset nopeusvasteet ”herkemmän” rakennuksen (kuvassa 3 oikean puoleinen rakennus) puolelta. Kuva 8 esittää vasteita Medi-Park IV asemaakva-alueen rakennuksesta (kuva 4).



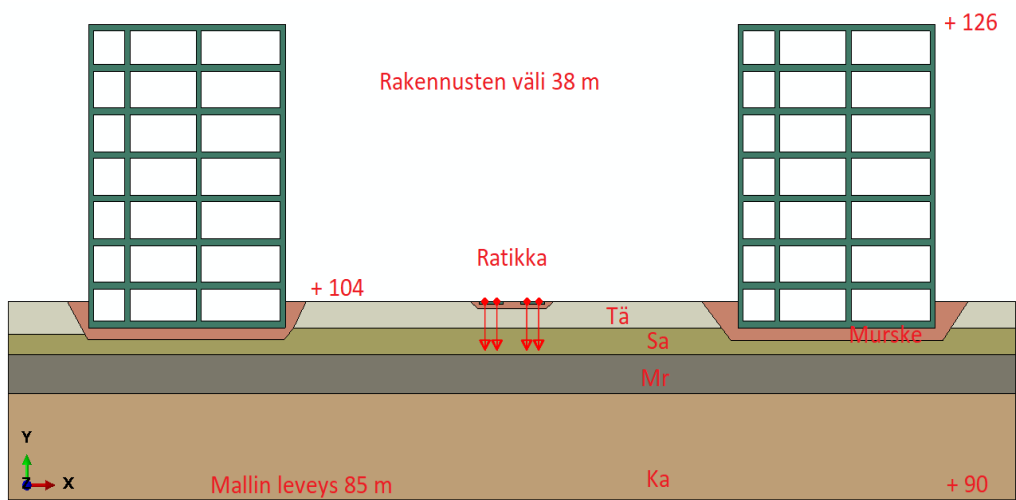
Kuva 3. Tärinälaskennan leikkauksen Alasjärvi läntinen sijainti (punainen viiva).



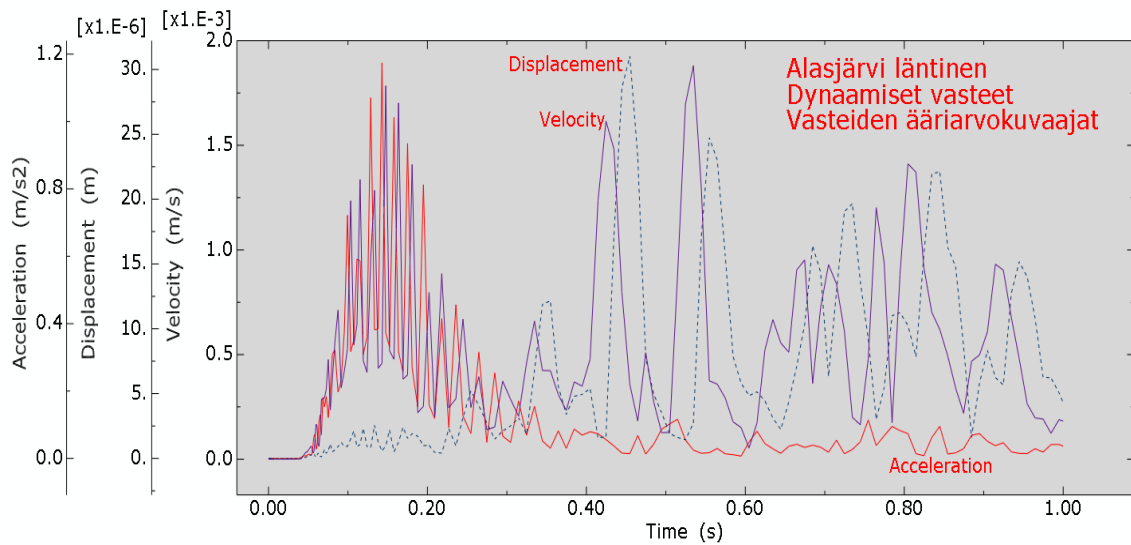
Kuva 4. Tärinälaskennan leikkauksen Medi-Park IV sijainti (punainen viiva).



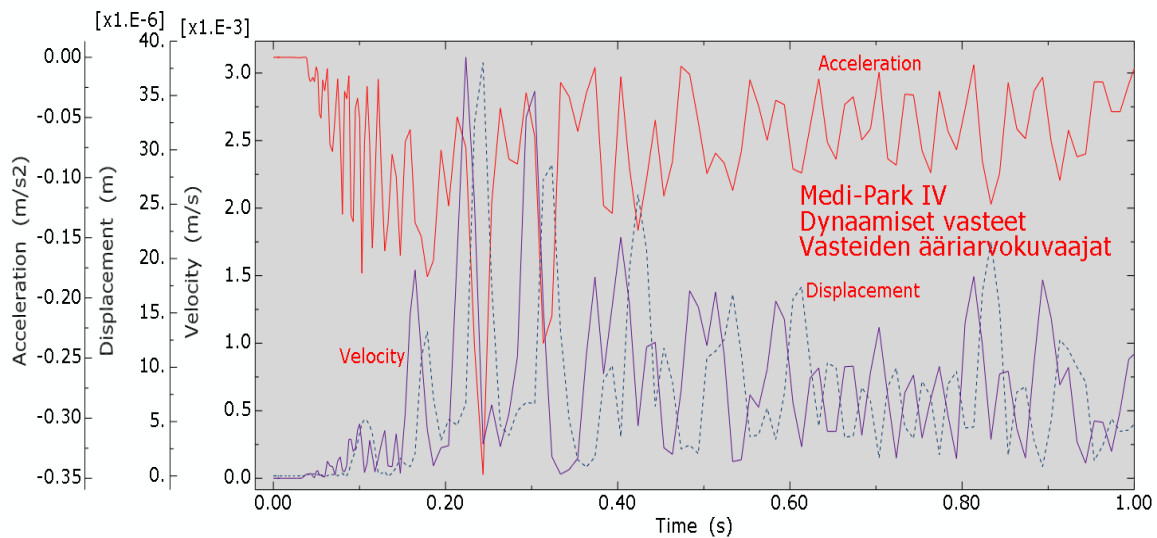
Kuva 5. Laskennan mallipoikkileikkaus, Alasjärvi läntinen.



Kuva 6. Laskennan mallipoikkileikkaus, Medi-Park IV.



Kuva 7. Dynaamiset vasteet, vastekäyrästön huippuarvokuvaajat, Alasjärvi läntinen. Tehollinen vertailuarvo (vw,95) on puolet laskennallisesta huippuarvosta.



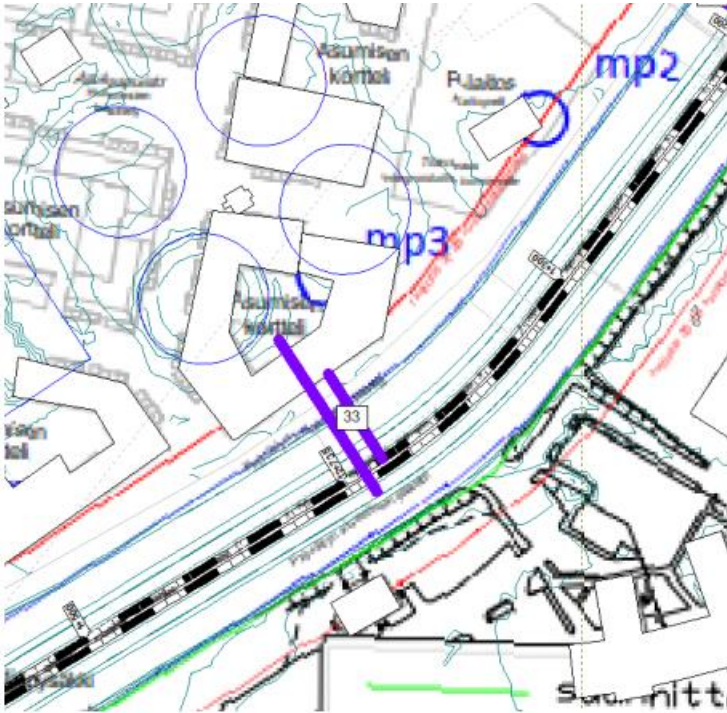
Kuva 8. Dynaamiset vasteet, vastekäyrästön huippuarvokuvaajat, Medi-Park IV. Tehollinen vertailuarvo (vw,95) on puolet laskennallisesta huippuarvosta.

## 5.2 Tärinälaskenta, Pirkkalan ratahaara

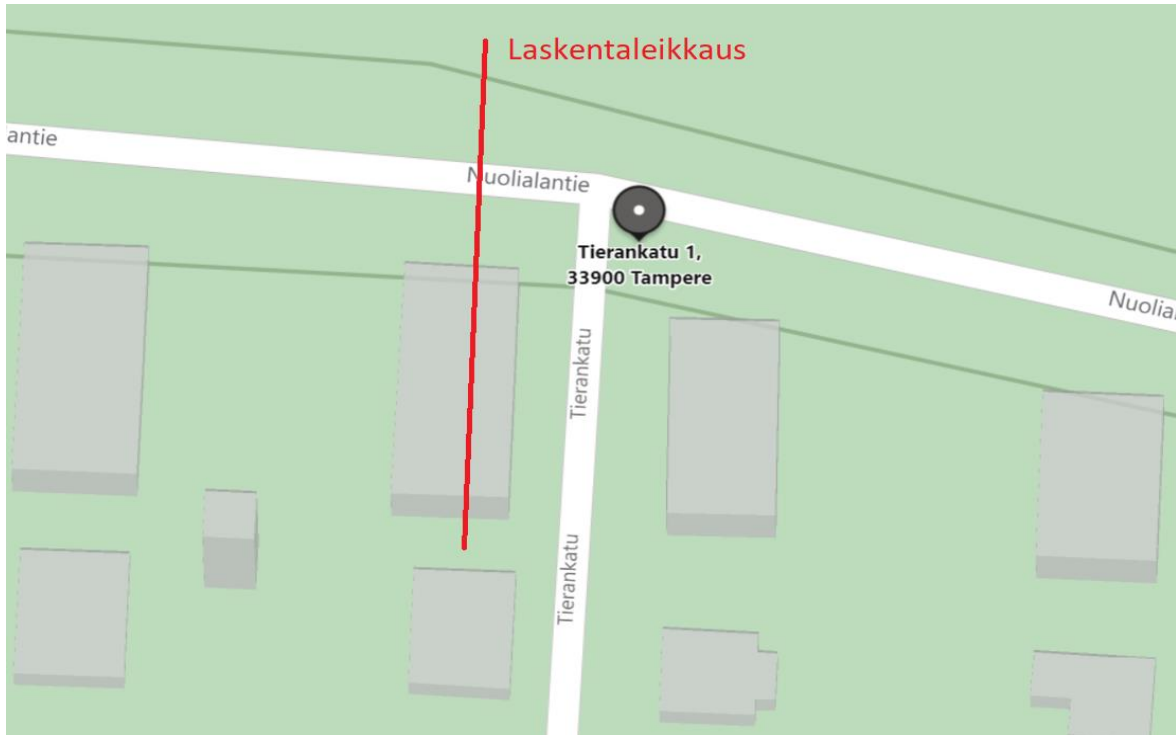
Tärinälaskentaan on valittu kuvien 8 ja 9 poikkileikkaukset. Kuvan 8 poikkileikkauksen kohdalla alueen maakerrokset ovat kuvan 10 mukaiset. Kuvan 9 poikkileikkauksen kohdalla alueen



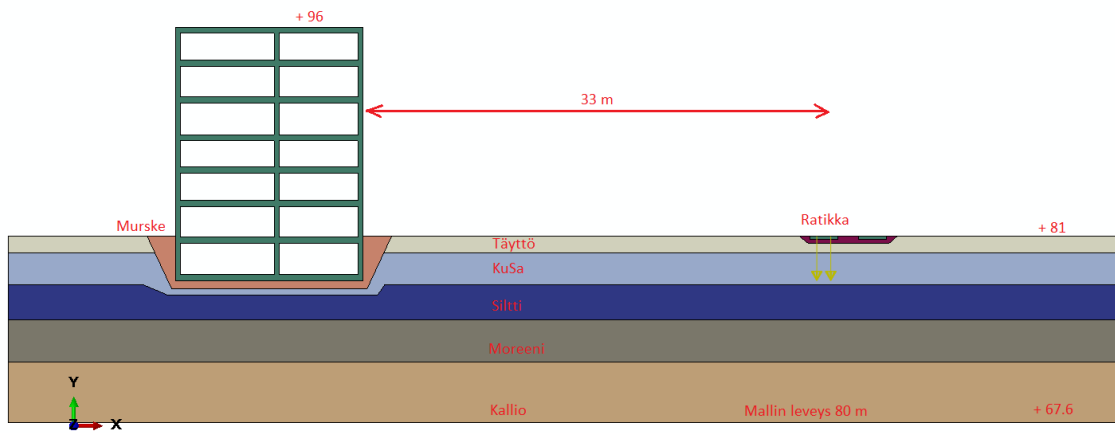
maakerrokset ovat kuvan 11 mukaiset. Kuvasta 12 ilmenee Pirkkalan ratahaaran kohdan pl 1400 ja kuvassa 13 kohdan pl 4620 laskennassa havaitut vasteet. Kohdassa pl 1400 on käytetty kaavamassoja rakennuksen tarkastelussa.



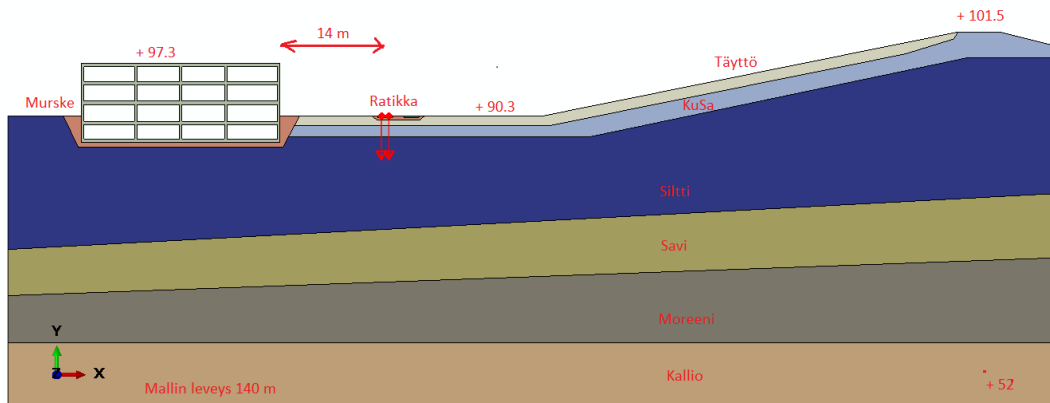
Kuva 9. Tärinälaskennan leikkauksen PI 1400 sijainti (sininen viiva).



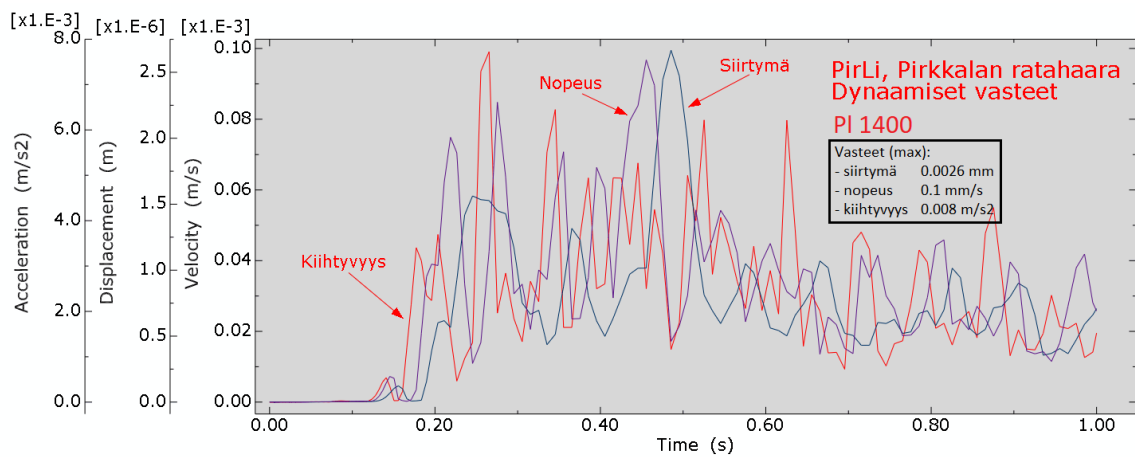
Kuva 10. Tärinälaskennan leikkauksen PI 4620 sijainti (punainen viiva).



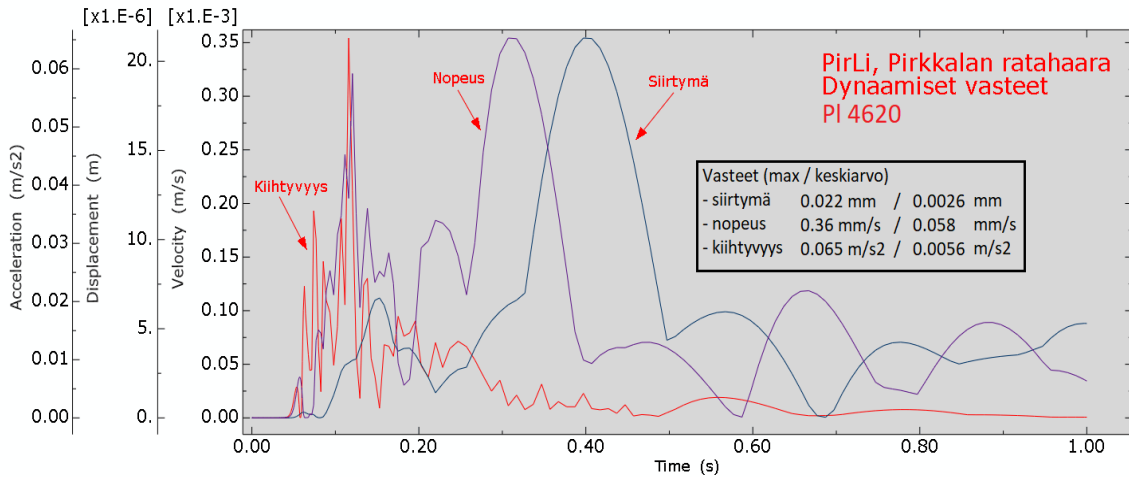
Kuva 11. Laskennan mallipoikkileikkaus, PI 1400.



Kuva 12. Laskennan mallipoikkileikkaus, PI 4620.



Kuva 13. Pirkkalan ratahaaran kohdassa pi 1400 lasketut dynaamiset vasteet.



Kuva 14. Pirkkalan ratahaaran kohdassa pl 4620 lasketut dynaamiset vasteet.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tarkastelussa on arvioitu tehtävämäärittelyn mukaisesti ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa ja vaimentumista suunnitellun Pirkkala – Linnainmaa raitiotien läheisyydessä. Tässä yhteydessä on tutkittu pysty- ja vaakasuuntaista värähtelyä. Mittauksia ei kohteessa ole tämän tehtävän yhteydessä tehty. Kohdassa 4.2 on esitettyä linjauksen tärinäherkät kohdat kriittisyyden suhteen. Näistä on valittu sekä Linnainmaan ratahaaran että Pirkkalan ratahaaran osalta 2 poikkileikkausta (kuvat 2 ja 3 sekä 8 ja 9) edustamaan linjauksen epäedullisinta efektiä suhteessa läheiseen rakennuskantaan.

- Raitiotielinjauksen kohdalle sijoittuviin pehmeikköalueisiin tullaan tekemänä pohjanvahvistuksia, joilloin raitiovaunuliikenteen aiheuttama värähtely saadaan merkittävästi vaimenemaan. Nämä pohjanvahvistukset vaikuttavat tosin lähinnä värähtelyn pystykomponentteihin. Etäisyyden kasvaessa energialähteestä (läheinen rakennuskanta) vaakavärähtely kasvaa suhteellisesti. Tässä tulee huomioida merkittävä riski rakennusten lattioiden pystyvärähtelyn kasvuvaaran suhteen.
- Tarkastelujakso (tyypillisesti 1 s) aikana on nähtävissä värähtelyn vaimentuminen. Arvioituja värähtelytasoa on verrattu tärinälle annettuihin suositusarvoihin. Suosittelun ohjearvoon (0,3 tai 0,6 mm/s) verrannollinen tulos ( $v_{w,95}$ ) ei ylity, kun tarkastelussa otetaan

huomioon keskiarvotettu värähtelyenergia (vasteet). Arvioidut värähtelytasot eivät myöskään ylitä rakennusten väurioitumiselle esitettyjä susositusarvoja.

- Raitiovaunujen pituus on suhteellisen lyhyt, jolloin värähtelyn resonoinnin aiheuttaman tärinäefektin riski (koskee erityisesti jännemitoiltaan pitkiä ja joustavia lattiarakenteita) on merkittävästi pienempi kuin esimerkiksi pitkillä tavarajunilla. Tärinätarkasteluun vaikuttavana epävarmuutena tulee myös mainita pohjatutkimusten karkeus, jolloin esimerkiksi vinot kalliopinnat sekä suuret lohkat saattavat aiheuttaa heijasteita ja värähtelyn interferoitumista.
- Vaimennuksen kustannuksia on arvioitu Väyläviraston Radanpidon ympäristöohjeessa erilaisille tärinätorjuntatoimenpiteille. Tässä tilanteessa, kun geotekninen suunnittelu on hahmottunut, ensisijaisina toimenpiteitä tärinän edelleen vaimentamiseksi ovat pohjaimet ja vaimenninmatot. Myös ponttiseinät, stabilointi, massanvaihto ja kumirouheseinät tulevat kysymykseen. Näillä toimilla voidaan lisätä varmuutta rakenteiden kestävyteen.
- Pystysuuntainen värähtely voidaan vaimentaa radan perustusratkaisujen avulla ja vaakasuuntainen värähtely rakenteellisten ratkaisujen avulla. Yleisesti on tunnettua, että vaakasuuntainen värähtely on kauempana radasta suurempaa, kuin pystysuuntainen.
- Tarkastelussa ei ole otettu huomioon rakennuksiin mahdollisesti sijoitettavia teknisiä laitteita ja niiden suojaamista tärinäältä. Herkkiä laitteistoja voidaan tärinäeristää asettamalla vaimennettuja tuentoja alustoille.

Helsinki 7.2.2023

WSP Finland Oy

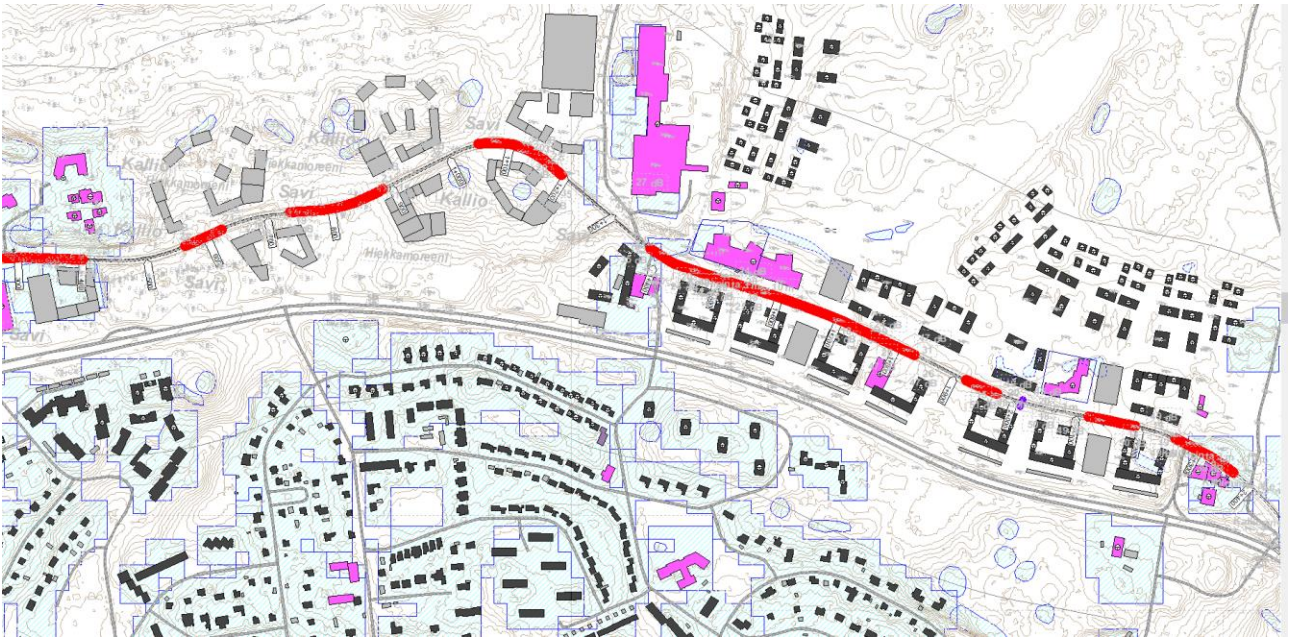
*Mauri Koskinen*

Mauri Koskinen

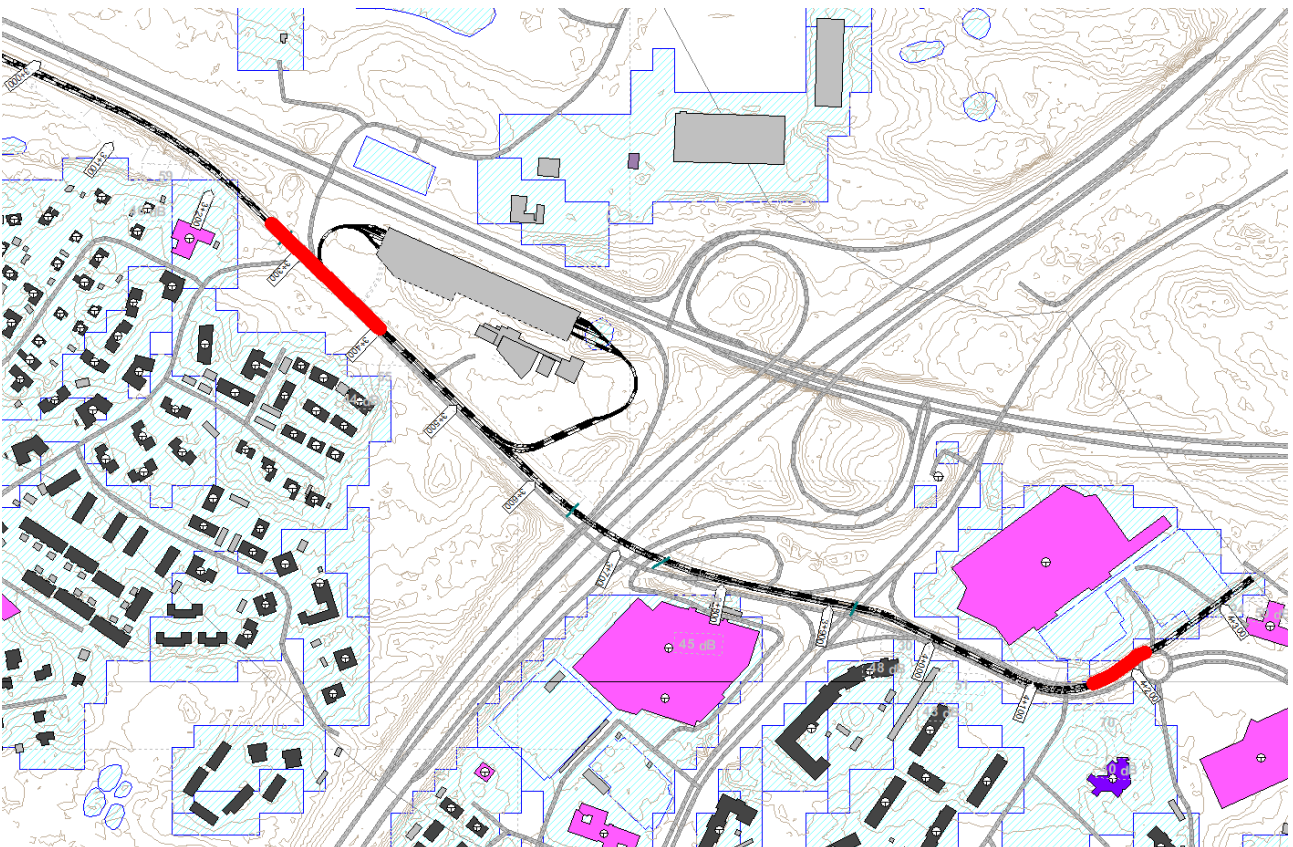
Pohjarakennus

## 7 Kirjallisuutta

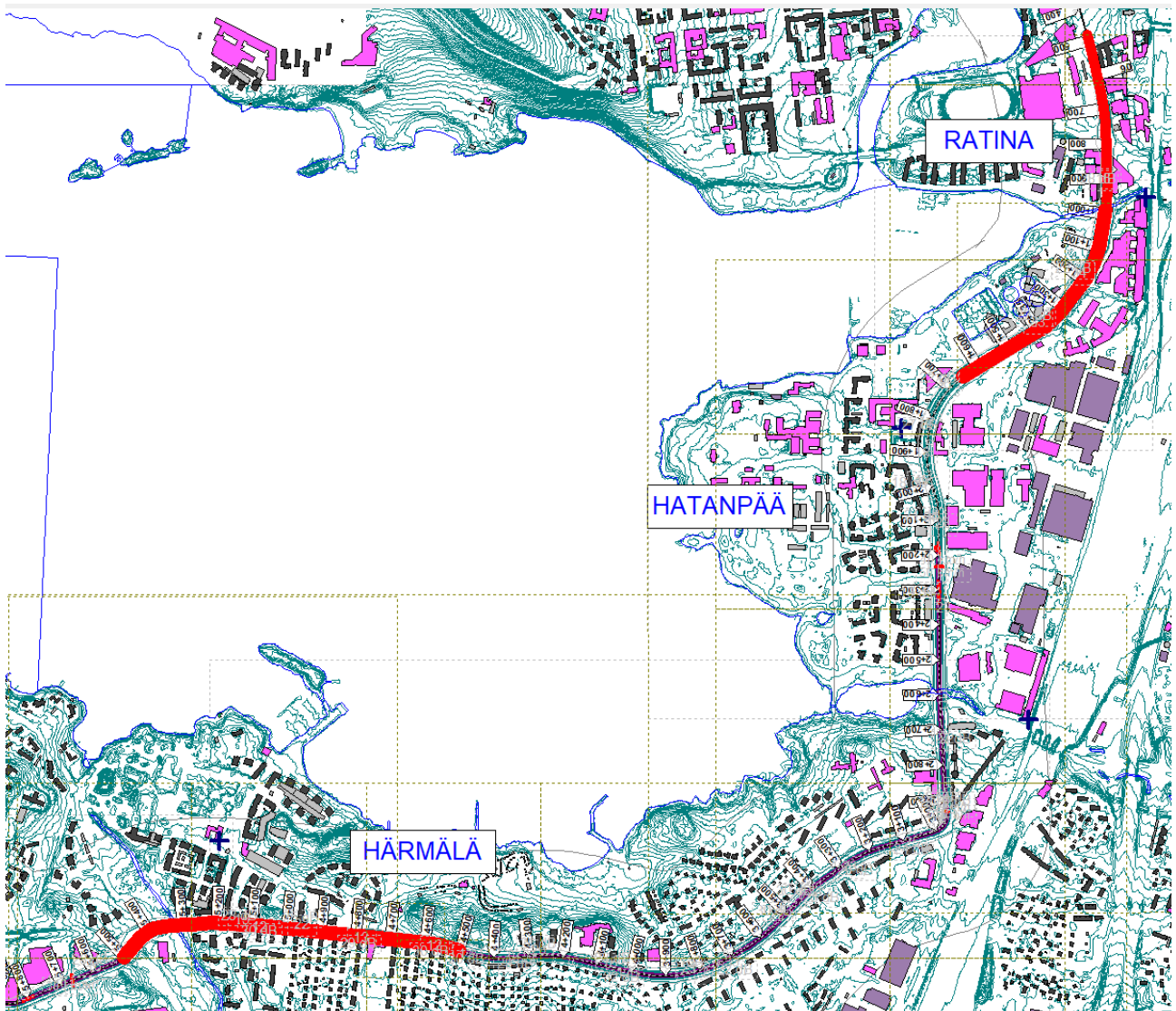
1. VTT 2006, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. Espoo. 46 s. Liitteitä 33 s. (VTT Working papers 50). ISBN 951 – 38 – 660 – 5. ISSN 1459 – 7683.
2. VTT 2005, Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. Espoo. 50 s. Liitteitä 15 s. (VTT tiedotteita 2278). ISBN 951 – 38 – 6523 – 1. ISSN 1235 – 0605.
3. VTT 2001, Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin – vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen. Luonnos 47 s.
4. VTT 2011, Ohjeita liikennetärinän arviointiin. Espoo 35 s. Liitteitä 9 s. (VTT tiedotteita 2569). ISBN 978 – 951 – 38 – 7685 – 2. ISSN 1455 – 0865.



Kuva 1. Tärinälle lievästi kriittiset raitiotieosuudet Linnainmaan haaralla paaluvälillä alueet 250 – 2300.

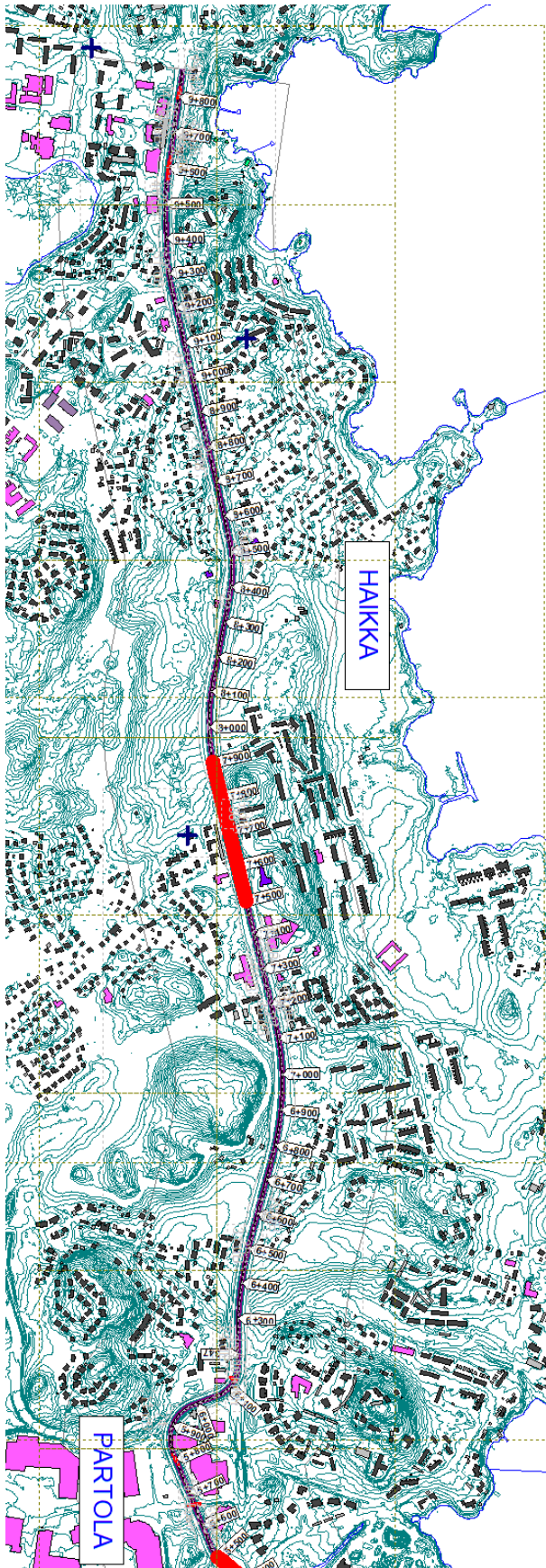


Kuva 2. Tärinälle lievästi kriittiset raitiotieosuudet Linnainmaan haaralla paaluvälillä alueet 3000 – 4350.



Kuva 3. Tärinälle lievästi kriittiset raitiotieosuudet Pirkkalan haaralla paaluvälillä alueet 500 – 5600.





Kuva 4. Tärinälle lievästi kriittiset raitiotieosuudet (paksu punainen viiva) Pirkkalan haaralla paaluvälillä alueet 5600 – 9800.