

**Oy VR-Rata Ab**  
**Rautatiesuunnittelu**  
**Rrs/Geo**  
**PL 488**  
**00101 Helsinki**

Seinäjäki – Oulu-radan palvelutason parantaminen,  
ympäristötärinämittaukset Ylivieska - Oulu  
25.5.2008  
Geomatti Oy työ 337



*Liminka, (kmv noin 727+000), rata-osaa Limingan eteläpuolella. Radan itäpuolella on useita metrejä korkea rakennettu maavalli.*

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. TÄRINÄSELVITYKSET RISKIALUEILLA.....	6
2.1 Oulainen (10, kmv 656+800 – 658+100).....	6
2.2 Vihanti (11, kmv 683+00 – 684+000).....	9
2.3 Tuomioja –Ruukki (12, kmv 795+300 – 706+500).....	13
2.4 Liminka (13, kmv 726+700 - 729+300).....	14
2.5 Tupos (15, kmv 734+000 – 736+000).....	20
2.6 Kempele (16 kmv 740+120 - 744+120).....	22
2.7 Oulu .....	26
2.7.1 Oulu, (17 kmv 745+000 – kmv 747+500).....	27
2.7.2 Oulu (18 kmv 7485+500 – kmv 749+000).....	28
3. YHTEENVETO.....	31

## LIITTEET

1. Oulainen, mittauspisteet, yhteenveto mittaustuloksista
2. Vihanti, mittauspisteet, yhteenveto mittaustuloksista
3. Ruukki, mittauspisteet, yhteenveto mittaustuloksista
4. Liminka, mittauspisteet, yhteenveto mittaustuloksista
5. Tupos, mittauspisteet, yhteenveto mittaustuloksista
6. Kempele, mittauspisteet, yhteenveto mittaustuloksista
7. Oulu, mittauspisteet, yhteenveto mittaustuloksista
8. Tärinän kuvaamisen käsitteitä

## 1. JOHDANTO

Seinäjoki–Oulu-radan palvelutason parantamisen suunnitteluun liittyen Oy VR- Rata ab on tilannut Geomatti Oy:ltä ympäristötärinätarkastelut välillä Ylivieska – Oulu. Työ pohjautuu vuonna 2006 Ympäristövaikutusten arvioinnissa määriteltyihin tärinäriski-alueisiin, joilla ihmiset voivat kokea rautatietärinän häiriönä.

Työn tavoitteena oli selvittää rautatieliikenteen aiheuttaman tärinän vaikutukset radan ympäristössä olevissa asuinrakennuksissa. Tärinähaitan arviointi perustuu sekä mittauksiin että laskennallisiin tarkasteluihin.

Mittauskohteet valittiin ympäristön vaikutusten arviointiselostuksessa esitettyjen riskialueiden perusteella (Seinäjoki – Oulu –radan palvelutason parantaminen, Ympäristövaikutusten arviointimenettely, Ympäristövaikutusten arviointiselostus, 2006). Ympäristötärinäriskialueilla (taulukko 1) tehtiin tärinämittaukset maaliskuu–toukokuussa 2008. Mittauspisteiden sijainnin valinnassa oltiin yhteydessä Limingan, Kempeleen, Vihannin ja Oulun kuntiin. Limingan kunnan edustajien kanssa keskusteltaessa tuli ilmi, että tärinämittaukset kohteessa 14 voitaisiin poistaa tarpeettomina ja siirtää lisämittauspisteiksi kohteeseen 13. Huomion arvoista on, että tärinän vaikutusalue on erityisesti kohteissa 13 – 18 todettu ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä laajaksi (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Tarkasteltavat kohteet. Kohdenumerot viittaavat yleissuunnitelman numerointiin ja muut tiedot Ympäristövaikutusten arviointiselostukseen.

Kohde	Liikennepaikka	Alku km	Loppu km	Pituus	Ihmisiä D-luokka Nykytila	D-luokan etäisyys radasta (m)
10	Oulainen	656+800	658+100	1300 m	50 - 100	100 – 150
11	Vihanti	683+300	684+000	700 m	50	100
12	Tuomioja-Ruukki	705+300	706+500	1200 m	100	100 – 200
13	Liminka – Kempele	726+700	729+300	2600 m	100	300 – 550
14	Liminka - Kempele	730+000	731+000	1000 m	50	400 – 1000
15	Liminka – Kempele	734+000	736+000	2000 m	50	120 – 1000
16	Liminka- Kempele	740+120	744+120	4000 m	150	150 – 1000
17	Kempele – Oulu	745+000	747+500	2500 m	150	170 – 1200
18	Kempele – Oulu	748+500	749+000	500 m	100	100 - 600

Mittausten ja tärinätarkasteluiden tulokset on esitetty tässä raportissa.

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

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

Arviointitasoa 2 voidaan käyttää, kun yleiskaavassa tai asemakaavassa rakentamista ohjataan yksityiskohtaisesti ja arviointitason 1 perusteella alue on riskialuetta. Arviointitason 2 laskennallisiin menetelmiin sisältyy usein niin suuria epävarmuuksia, että tärinämittauksiin perustuva arviointitaso 3 on usein perusteltua. Arviointitasoa 3 käytetään erityisesti silloin, kun tärinän arvioidaan vahvistuvan merkittävästi rakennuksissa.

**Tämän tarkastelun lähtökohtana on suosituksen arviointitaso 2, jossa tarkistusluonteisten tärinämittausten avulla tarkennetaan laskennallisia tärinätarkasteluja.**

Rataosan tavaraliikenne on vilkasta ja sen määrä oli vuonna 2005 noin 4...5 miljoonaa tonnia. Henkilöliikenteen määrä radalla oli vuonna 2005 noin miljoona matkustajaa. Radan nykyinen palvelutasoluokka on tavaraliikenteessä T2 ja henkilöliikenteessä H2. Suurin akselipaino on nykyisin 22,5 tonnia, ja suurin nopeus 140 km/h henkilöliikenteessä (Ratahallintokeskuksen toiminta- ja taloussuunnitelma vuosille 2008 – 2011). Raskaimmat tavarajunat liikennöivät Vartiuksesta Raahen ja Kokkolaan sekä Raahesta Hämeenlinnaan.

Radan palvelutason parantamisen yhteydessä junien nopeus nostetaan henkilöliikenteessä junatyypistä riippuen tasolle 160 – 200 km/h ja tavaraliikenteessä tasolle 80 – 100 km/h. Tavaraliikenteen suurin akselipaino nostetaan 25 tonniin. Tavaraliikenteen arvioidaan kasvavan tulevaisuudessa noin 20 – 30 %.

Suurimman tärinän radan ympäristössä aiheuttavat yleensä raskaat ja pitkät tavarajunat. Tavarajunien painot ovat yleensä noin 500 – 2000 tonnia. Raahen terästehtailta Hämeenlinnaan liikennöivien junien suurin paino on nykyisin 3 600 tonnia. Venäjältä Vartiuksen kautta tulevien raskaimpien junien kokonaispaino on 5000 ... 6000 tonnia. Palvelutason parannuksen jälkeen ei junien suurimmissa painoissa ole odotettavissa olennaisia muutoksia. Todennäköisesti raskaiden junien osuus kuitenkin kasvaa, jolloin tärinävaikutukset voivat tältä osin lisääntyä.

Suurinta tärinä radan läheisyydessä on yleensä hienorakeisilla maapohjilla, kuten lieju-, turve-, savi- ja silttikerrostumissa. Riskikohteiden (taulukko 1) yhtenä valintaperusteena oli hienorakeinen maapohja.

Ratahallintokeskuksen Ratateknisissä ohjeissa (RATO), osassa 3 Radan rakenne, sovelletaan tärinämittauskäytäntöä, jonka perusteella voidaan arvioida tärinän aihe-

uttamaa ihmisten kokemaa häiriötä (VTT, Tiedotteita 2278, 2004). Tärinän ohje-arvot perustuvat tärinän heilahdusnopeuden taajuuspainotetun tehollisarvon mittaamisen perusteella tilastollisesti määritettyyn värähtelyn tunnuslukuun  $v_{w,95}$  (taulukko 2 ja liite 9). Tärinähaittaa radan ympäristössä tarkastellaan tässä raportissa taulukossa 2 esitettyjen värähtelyluokkien perusteella. Uusille radoille ja radoille, joilla liikennenopeutta tai akselipainoja nostetaan aikaisempaan verrattuna, sovelletaan värähtelyluokkaa C.

**Taulukko 2.** Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta (VTT, Tiedotteita 2278, 2004).

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

Tehollisarvo, jossa yksittäiset huippuarvot tasoittuvat, kuvaa paremmin tärinän aiheuttaa haittaa ihmisen häiriintymiselle kuin huippuarvo, joka soveltuu paremmin rakenteiden vaurioitumistarkasteluihin. Yleensä rautatietärinän taajuuspainotettu heilahdusnopeuden tehollisarvo ja samalla värähtelyn tunnusluku  $v_{w,95}$  on noin 50 % tärinän huippuarvosta ja sen tunnusluvusta  $v_{max 95}$ .

Taulukkoa ei sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai muut kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä (esim. toimistot, kaupat, kahvilat, ostoskeskukset, tavaratalot, liikuntatilat).

**Tärinän vähentämismahdollisuuksia on tarkasteltu luvussa 3.**

## 2. TÄRINÄSELVITYKSET RISKIALUEILLA

Tärinäselvitykset perustuvat tarkistusluonteisiin mittauksiin ja laskennallisiin tarkasteluihin.

Tärinämittausten kenttätyöt teki Kivi- ja Maa-asia Valtonen Ky. Tärinästä mitattiin heilahdusnopeudet (mm/s) ja taajuudet (Hz) InstanTel MiniMate Plus mittareilla kolmessa toisiaan kohtisuorassa suunnassa kolmikomponenttigeofonilla, pysty- (vert), pitkätaisis- (long) ja poikittaissuunnissa (trans). Pitkittäissuunta (long) on radan suuntainen ja poikittaissuunta (tran) kohtisuoraan rataa vasten. Mittaukset oli suunniteltu käynnistyväksi tärinän ylitettyä yleensä kynnyksarvon 0,3 mm/s. Anturit kiinnitettiin yleensä kiinteästi maahan tai muutamassa mittauspisteessä rakennusten sokkeleihin. Tärinämittaukset kestivät kussakin kohteessa noin 40 tuntia, jolloin joka kohteessa mitattiin tavaraliikennettä kahtena peräkkäisenä yönä ja niiden välisenä päivänä.

Junaliikenteen aiheuttamia tärinätasoja tarkasteltiin mittausten lisäksi tärinän ennustumallin perusteella (VTT 2006, Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, Working Papers 50).

Merkittävä osa tarkasteltavien alueiden asuinrakennuksista on yksikerroksisia. **Tärinäselvityksessä määriteltävät värähtelyluokkien likimääräiset alueet on tehty yksikerroksisille rakennuksille.** Laskennallisissa tarkasteluissa tärinän siirtymiskerroin maasta rakenteisiin oli yksikerroksisilla rakennuksella yksi. Kun kerroin on yksi, tärinä siirtyy maasta rakennukseen vahvistumatta tai vaimentumatta. Kaksikerroksisissa rakennuksissa matalataajuinen tärinä (4...8Hz) yleensä vahvistuu ja vahvistumiskerroin on usein noin 1.5. Kerrostaloissa vahvistuminen riippuu ennen kaikkea välipohjien rakenteista. Yleensä tärinän vahvistumiskerroin on kerrostaloissa yksi tai vähemmän.

Tarkasteluissa kaikissa kohteissa rata oli perustettu sekä nykytilanteessa että palvelutasonparantamisen jälkeen pehmeiköille maanvaraisesti. Mikäli radan perustustapa muuttuu ja rata perustetaan esimerkiksi massanvaihdon varaan tai paalulaatalle, tärinätaaso todennäköisesti alenee merkittävästi ja tarkastelu on näiltä osin tehtävä uudelleen.

### 2.1 Oulainen (10, kmv 656+800 – 658+100)

Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdyssä tärinäselvityksessä arvioitiin värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 100 – 150 metriä. Värähtelyluokan D:tä tai sitä suuremmalle tärinälle nykyisin altistuvien asukkaiden lukumääräksi arvioitiin noin 50 - 100.

Mittauslinjojen A ja B anturit kiinnitettiin kiinteästi maahan. Maahan kiinnitettyjen mittareiden etäisyys radasta oli molemmilla linjoilla 75, 125 ja 175 metriä (kuva 1). Maapohja radan alla Oulaisten selvitysalueen kohdalla on pohjatutkimusten perusteella pehmeikköä, todennäköisesti savea tai savista silttiä. Näytetietoja ei ollut käytettävissä. Painokairaukset ovat päättyneet moreeniin noin 5...10 metrin syvyydessä. Pehmeän kerroksen paksuus on noin 2...5 metriä. Leikkauslujuustietoja ei ollut käytettävissä. Maanpinnan korkeus radan kohdalla on noin +67... +68.

Mittaukset tehtiin 8.5 klo 16 ja 10.5 klo 12 välisenä aikana. Tärinää taltioitiin 20 junausta, joista osa oli raskaita tavarajunia. Suurimman junan paino oli 4045 tonnia.



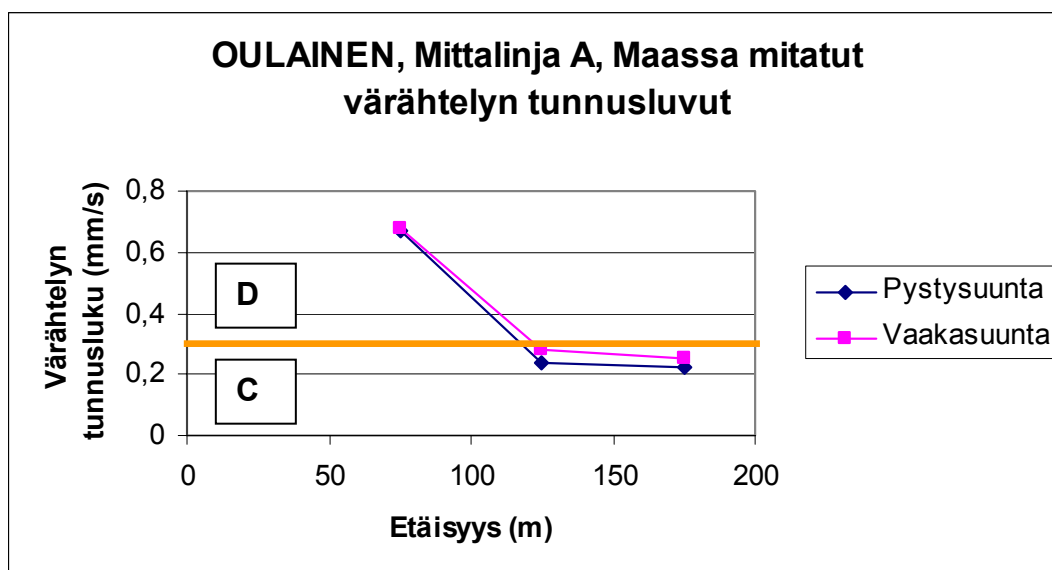
**Kuva 1.** Tärinän riskialue Oulaisissa. Poikkiviivat radan kohdalla rajaavat tarkastelualueen. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on merkitty kuvaan likimääräisesti. Värähtelyluokka D on lähempänä rataa, rajan sisällä. Ehdotus tärinän vähentämistoimenpiteiden likimääräiseksi sijainniksi on merkitty kuvaan sinisellä.

Tärinä oli lähes yhtä suurta sekä pysty- että vaakasuunnassa kohtisuoraan rataa vastaan. Suurin mitattu tärinän huippuarvo oli mittalinjalla A 75 metrin etäisyydellä radasta 1,47 mm/s pystysuunnassa, 125 metrin etäisyydellä 0,74 mm/s vaakasuunnassa ja 175 metrin etäisyydellä 0,60 mm/s vaakasuunnassa. Tärinän taajuus oli yleensä kaikissa suunnissa välillä 4...8 Hz. Mittaustulosten yhteenveto on esitetty liitteessä 1.

Mittauslinjalla B ei tärinä ylittänyt kynnyksarvoa. Tähän on syynä todennäköisesti se, että siirryttäessä radasta sivulle päin moreeni nousee maanpinnalle. Mittauspisteiden kohdalla maapohja oli maanpinnalla siellä täällä näkyvistä kivistä päätelle moreenia.

Mitattujen huippuarvojen ja mittausten hajonnan perusteella määritetyt värähtelyn tunnusluvut maassa on esitetty kuvassa 2 ja yhteenvetona kuvassa 3. Määrittäminen pe-

rustuu siihen olettamukseen, että värähtelyn tunnusluku on 50 % huippuarvojen perusteella määritetystä tunnusluvusta (ks. johdanto).



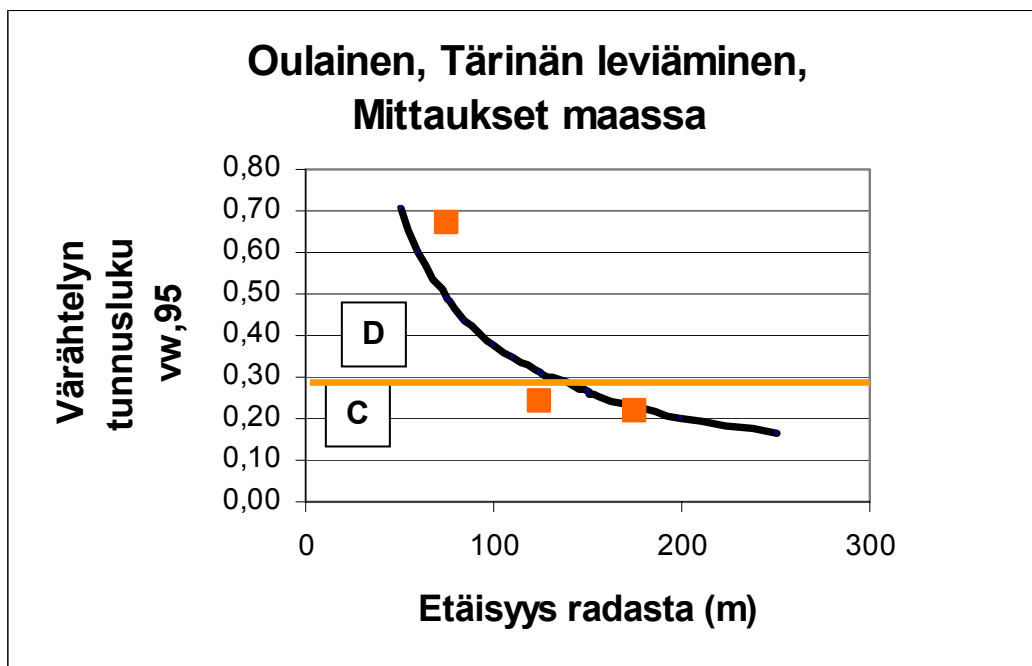
**Kuva 2 .** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla A, jossa mittauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75, 125 ja 175 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).

Yksikerroksisissa rakennuksissa arvioidaan tärinän olevan sama kuin sen vieressä maassa, jolloin tärinän vahvistuskertoimen rakenteissa on yksi. Näin ollen ulottuu yksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue noin 100...150 metrin etäisyydelle radasta.

Kaksikerroksisissa rakennuksissa värähtely yleensä vahvistuu siirryessään maasta rakenteisiin. Keskimäärin vahvistuminen on noin puolitoistakertaista, ja selvästi suurinta vaakasuunnassa. Vahvistuminen riippuu liikennetärinän taajuudesta ja rakenteen ominaistajuuksista. Yleensä vahvistuminen on kaksikerroksisissa rakennuksissa suurinta resonanssitaajuudella noin 4...7 Hz. Koska vaakasuuntaisen tärinän suuruus oli mittauksissa samansuuruista pystysuuntaisten tärinän kanssa, voi kaksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue ulottua tärinän mahdollisen vahvistumisen vuoksi kauemmaksi kuin yksikerroksisilla rakennuksilla. Kerrostaloissa matalataajuinen tärinä, noin 5 Hz, ei yleensä vahvistu.

Kuvassa 3 on esitetty ennustusmallin perusteella lasketut pystysuuntaisen värähtelyn tunnusluvut maassa etäisyyden suhteen.





**Kuva 3 .** Mittausten ja ennustusmallin perusteella määritetyt värähtelyn pystysuuntaiset tunnusluvut maassa Oulaisissa mittauslinjan A kohdalla. Mittaustulokset punainen neliö. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja (0,30 mm/s).

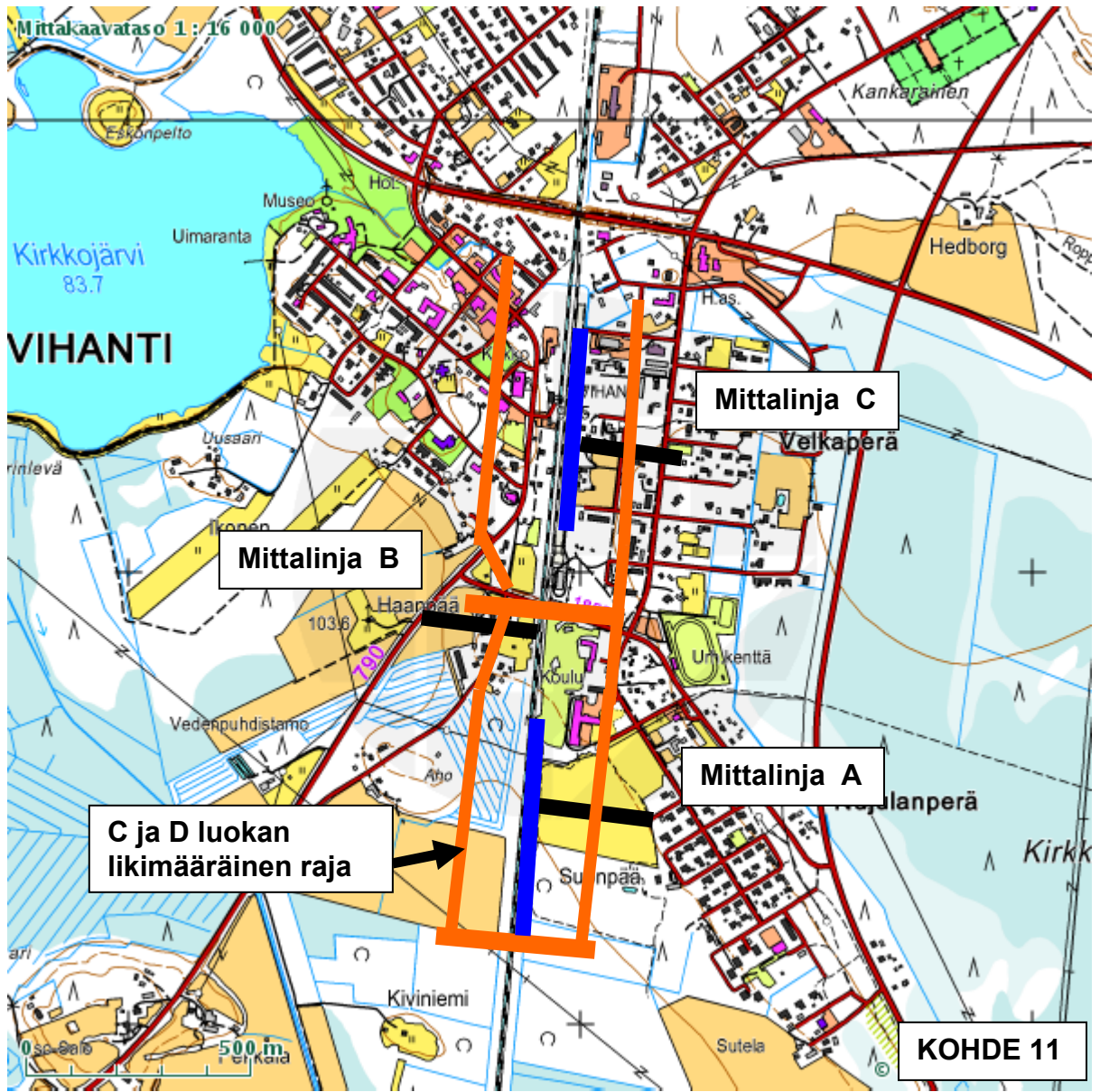
## 2.2 Vihanti (11, kmv 683+00 – 684+000)

Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdyssä tärinäselvityksessä arvioitiin värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 100 metriä. Värähtelyluokan D:tä tai sitä suuremmalle tärinälle nykyisin altistuvien asukkaiden lukumääräksi arvioitiin noin 50.

Tärinämittauspisteiden valinta tehtiin yhdessä kunnanrakennusmestari Olli Silvennoisen kanssa. Keskustelujen perusteella mittauksia tehtiin kolmessa linjassa A,B ja C, joissa jokaisessa oli kaksi mittauspistettä. Mittauslinja C oli Ympäristön vaikutusten arvioinnissa määritetyn tärinäriskialueen pohjoispuolella (kuva 4). Maahan kiinnitettyjen mittareiden etäisyys radasta oli linjalla A, 75 ja 150 metriä, linjalla B, 50 ja 100 metriä ja linjalla C, 75 ja 125 metriä. Anturit kiinnitettiin kiinteästi maahan.

Maapohja radan alla Vihannin selvitysalueen kohdalla vaihteli eteläosan (linja A) noin 5...7 metrin pehmeiköstä, hiekkamuodostumaan (linja B) ja sen pohjoispuolella vaihtelevaan maapohjaan, jossa on pehmeitä, keskitiiviitä ja tiiviitä kerrostumia (linja C). Pehmeimmät kerrostumat ovat pohjatutkimusten perusteella todennäköisesti savea ja jopa turvetta. Näytetietoja leikkauslujuustietoja ei ollut käytettävissä. Painokairaukset ovat päättyneet yleensä moreeniin noin 5...15 metrin syvyydessä. Maanpinnan korkeus radan kohdalla on noin +85... +91.

Mittaukset tehtiin 6.5 klo 18 ja 8.5 klo 14 välisenä aikana. Tärinää taltioitiin 30 junasta, joista osa oli raskaita tavarajunia. Suurimman junan paino oli 4011 tonnia.



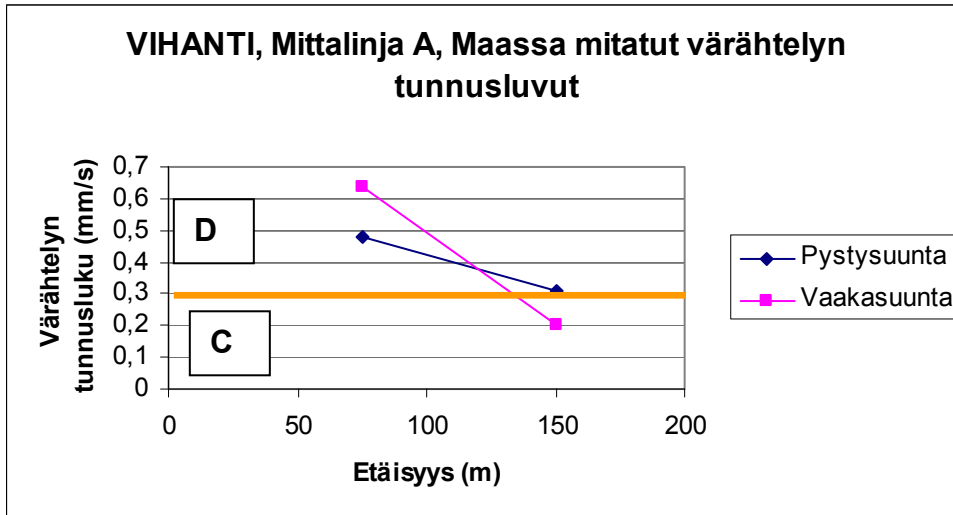
**Kuva 4.** Tärinän riskialue Vihannissa. Poikkiviivat radan kohdalla rajaavat tarkastelualueen. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on merkitty kuvaan likimääräisesti. Värähtelyluokka D on lähempänä rataa, rajan sisällä. Kunnan edustajien kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen tärinätarkastelu laajennettiin Oulun suuntaan mittauslinjan C alueelle. Ehdotus tärinän vähentämistoimenpiteiden likimääräiseksi sijainniksi on merkitty kuvaan sinisellä. Mittauslinjan A alueelle on kaavoitettu pientaloja, joiden rakentaminen ei ole vielä alkanut.

Tärinä oli lähes yhtä suurta sekä pysty- että vaakasuunnassa kohtisuoraan rataa vastaan, joskin eri suuntaisten tärinän arvojen suhde vaihteli melko paljon mittauspisteittäin. Suurin mitattu tärinän huippuarvo oli mittauslinjalla A 75 metrin etäisyydellä radasta 1,21 mm/s vaakasuunnassa ja 150 metrin etäisyydellä 0,71 mm/s pystysuunnassa. Mittauslinjalla B etäisyydellä 50 metriä suurin arvo oli 1,13 mm/s vaakasuunnassa ja 100 metrin etäisyydellä samoin vaakasuunnassa 0,59 mm/s. Mittauslinjalla C suurin tärinän arvo oli 75 metrin etäisyydellä 1,29 mm/s pystysuunnassa ja 125 metrin etäisyydellä 0,60 mm/s vaakasuunnassa.

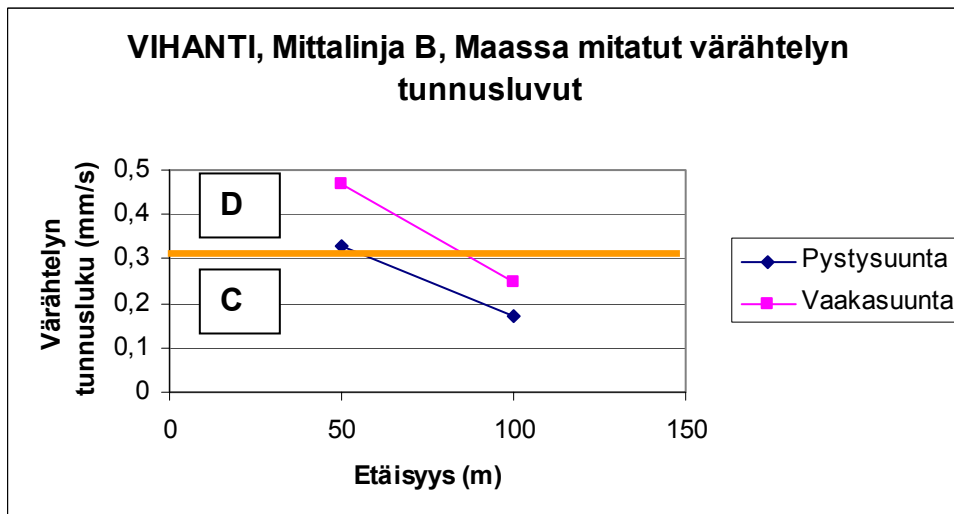
Tärinän taajuus oli yleensä kaikissa suunnissa välillä 4...8 Hz. Mittauslinjan B tuloksissa oli selvästi nähtävissä myös toinen merkittävä taajuusalue välillä 30...40Hz.

Mittaustulosten yhteenveto on esitetty liitteessä 2.

Mitattujen huippuarvojen ja mittausten hajonnan perusteella määritetyt värähtelyn tunnusluvut maassa on esitetty mittaussinjoittain kuvissa 5,6 ja 7 sekä yhteenvetona kuvassa 8. Määrittäminen perustuu siihen oletukseen, että värähtelyn tunnusluku on 50 % huippuarvojen perusteella määritetystä tunnusluvusta (ks. johdanto).

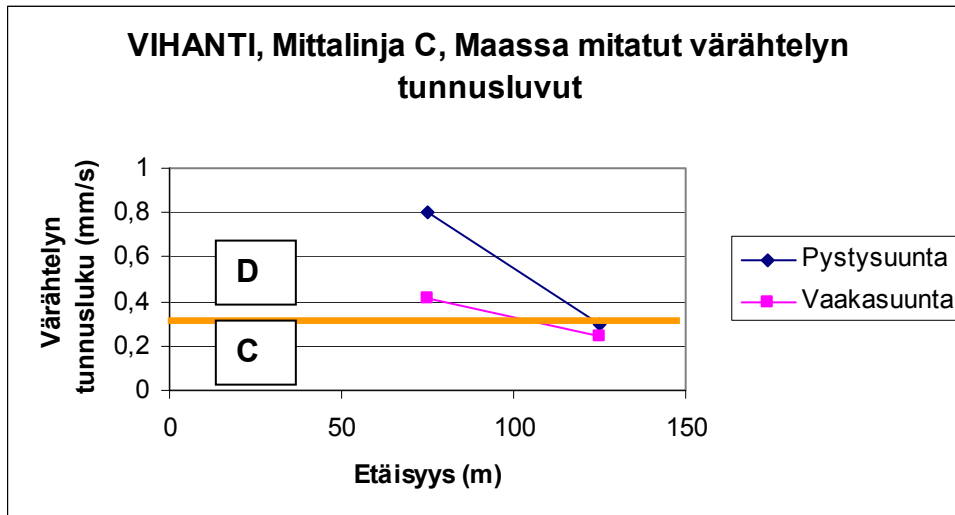


**Kuva 5.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittauslinjalla A, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75 ja 150 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).



**Kuva 6.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittauslinjalla B, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 50 ja 100 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).

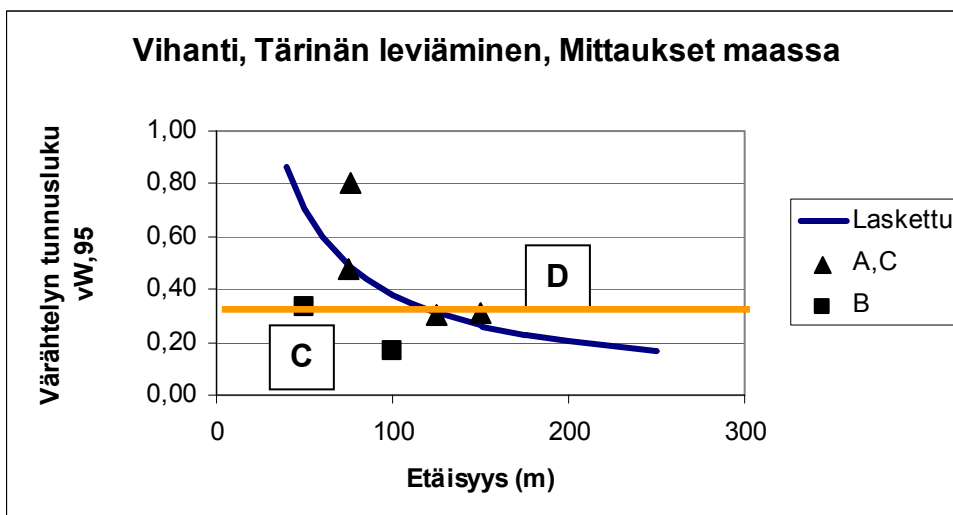
Yksikerroksisissa rakennuksissa arvioidaan värähtelyn olevan sama kuin sen vieressä maassa, jolloin värähtelyn vahvistuskertoimen rakenteissa on yksi. Näin ollen ulottuu yksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue noin 100...150 metrin etäisyydelle radasta mittauslinjojen A ja C alueella. Mittauslinjan B alueella värähtelyluokan D raja on lähempänä rataa, noin 100 metrin etäisyydellä radasta. Tällä kohdalla maapohja on karkeampaa ja tiiviimpää kuin muiden mittauslinjojen kohdalla.



**Kuva 7.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittauslinjalla C, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75 ja 125 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).

Kaksikerroksisissa rakennuksissa värähtely yleensä vahvistuu siirtyessään maasta rakenteisiin. Keskimäärin vahvistuminen on noin puolitoistakertaista, ja selvästi suurinta vaakasuunnassa. Vahvistuminen riippuu liikennetärinän taajuudesta ja rakenteen ominaistajuuksista. Yleensä vahvistuminen on kaksikerroksisissa rakennuksissa suurinta resonanssitaajuudella noin 4...7 Hz. Koska vaakasuuntaisen tärinän suuruus oli mittauksissa samansuuruista pystysuuntaisten tärinän kanssa, voi kaksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue ulottua tärinän mahdollisen vahvistumisen vuoksi kauemmaksi kuin yksikerroksisilla rakennuksilla. Kerrostaloissa matalataajuinen tärinä, noin 5 Hz, ei yleensä vahvistu.

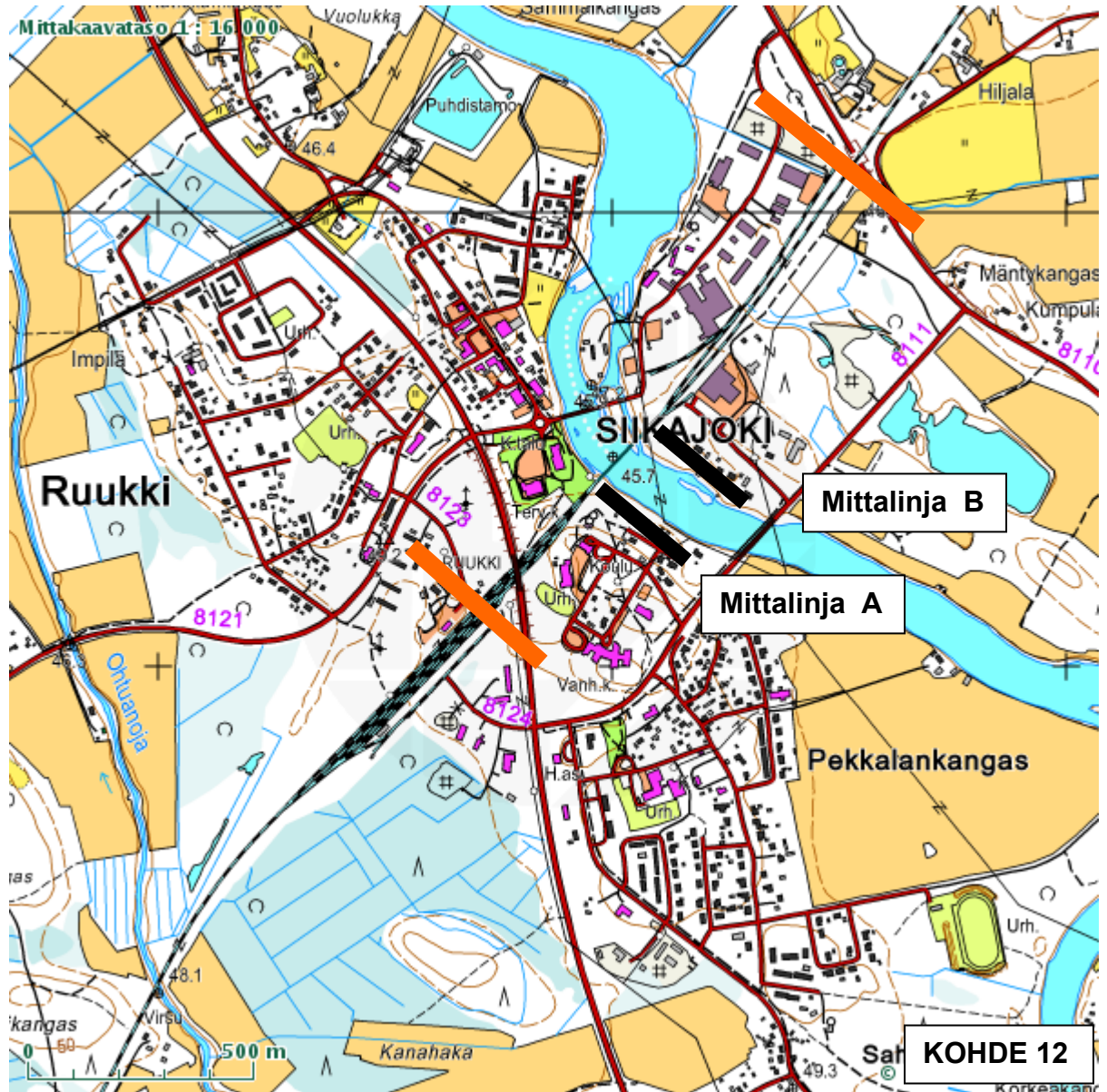
Kuvassa 8 on esitetty ennustusmallin perusteella lasketut pystysuuntaisen värähtelyn tunnusluvut maassa etäisyyden suhteen.



**Kuva 8.** Mittausten ja ennustusmallin perusteella määritetyt värähtelyn pystysuuntaiset tunnusluvut maassa Vihannissa. Mittaustulokset musta kolmio linjoilla A ja C, ja musta neliö linjalla B. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja (0,30 mm/s). Linjalla B tärinä on selvästi muuta aluetta vähäisempää.

### 2.3 Tuomioja –Ruukki (12, kmv 795+300 – 706+500)

Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdyssä tärinäselvityksessä arvioitiin värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 100 – 200 metriä. Värähtelyluokan D:tä tai sitä suuremmalle tärinälle nykyisin altistuvien asukkaiden lukumääräksi arvioitiin noin 100.



**Kuva 9.** Tärinän riskialue Ruukissa. Poikkiviivat radan kohdalla rajaavat tarkastelualueen. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on merkitty kuvaan likimääräisesti. Värähtelyluokka D on lähempänä rataa, rajan sisällä.

Mittaustulosten A ja B anturit kiinnitettiin kiinteästi maahan. Maahan kiinnitettyjen mittareiden etäisyys radasta oli molemmilla linjoilla 75, 125 ja 175 metriä (kuva 9). Maapohja radan alla Ruukin selvitysalueen kohdalla on pohjatutkimusten perusteella vaihtelevasti pehmeiköä, savista silttiä ja silttiä sekä tiiviimpää kitkamaata. Painokairaukset ovat päätetty yleensä määräsyyvyyteen noin 3...8 metrin syvyydessä. Pienin leikkauslujuus on noin 20 kPa. Maanpinnan korkeus radan kohdalla on noin +48. Ruukin kohteessa pehmeikö on ohut ja puuttuu osalta alueelta kokonaan.

Mittaukset tehtiin 2.5 klo 21 ja 4.5 klo 21 välisenä aikana. Tärinämittaustuloksista ei voitu tunnistaa junan aiheuttamaa tyypillistä matalataajuista tärinää alueella 4...8 Hz. Sen sijaan taltioitiin useita tärinätapahtumia, kaikki päiväaikana, joissa tärinätaso oli paikoin korkea, jopa yli 5 mm/s. Tärinä oli luonteelta impulssimaista ja sen taajuus laajakaistaista noin 50...100 Hz. Tätä tärinää ei voitu yhdistää ohikulkeviin juniin. Mittauksen aikana suurin ohi kulkenut juna painoin 3596 tonnia.

## 2.4 Liminka (13, kmv 726+700 - 729+300)



**Kuva 10.** Tärinän riskialue Limingassa. Poikkiviivat radan kohdalla rajaavat tarkastelualueen. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on merkitty kuvaan likimääräisesti. Värähtelyluokka D on lähempänä rataa, rajan sisällä. Ehdotus tärinän vähentämistoimenpiteiden likimääräiseksi sijainniksi on merkitty kuvaan sinisellä.

Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdyssä tärinäselvityksessä arvioitiin värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 300 – 550 metriä. Värähtelyluokan D:tä tai

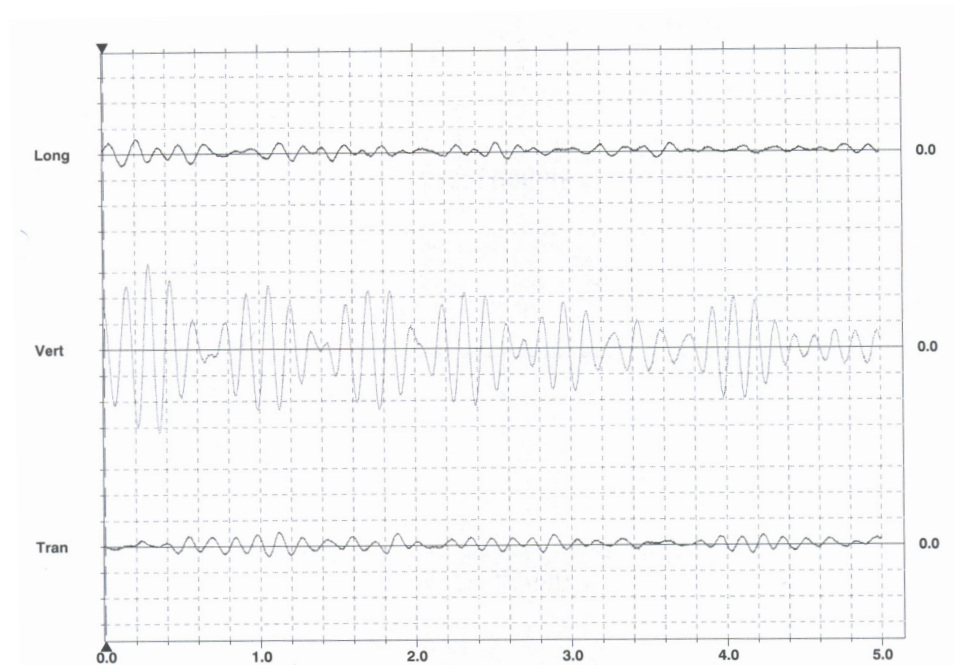
sitä suuremmalle tärinälle nykyisin altistuvien asukkaiden lukumääräksi arvioitiin noin 100. Alueella on nykyisin yli 3000 tonnin junille nopeusrajoitus 50 km/h.

Mittalinjojen paikat valittiin yhteistyössä Limingan kunnanarkkitehti Pentti Kelan kanssa. Mittauslinjojen A,B,C ja D anturit kiinnitettiin kiinteästi maahan. Lisäksi mitattiin kolmessa erillisessä pisteessä tärinää rakennusten perustuksiin kiinnitetyistä antureista. Maahan kiinnitettyjen mittareiden etäisyys radasta oli 50 – 200 metriä (kuva 10). Mittalinja A oli Pakolantie 17 koillispuolella, mittarit 75 m, 125 m ja 175m radasta. Mittalinja B oli Meijerintie 16 kohdalla, mittarit 75 m, 125 m ja 175m radasta. Mittalinja C oli Aabramintie 6 kohdalla, mittarit 50 m, 100 m ja 150 m radasta ja mittalinja D Forsmanninranta 6 kohdalla, mittarit 85 m, 150 m ja 200 m radasta. Erilliset mittauspisteet olivat Rantatie 23 A perustus (H1), Rantatie 5 perustus (H3) ja Meijerintie 2 (perustus (H2)). Tarkemmin mittauspisteiden paikat on esitetty liitteessä 4.

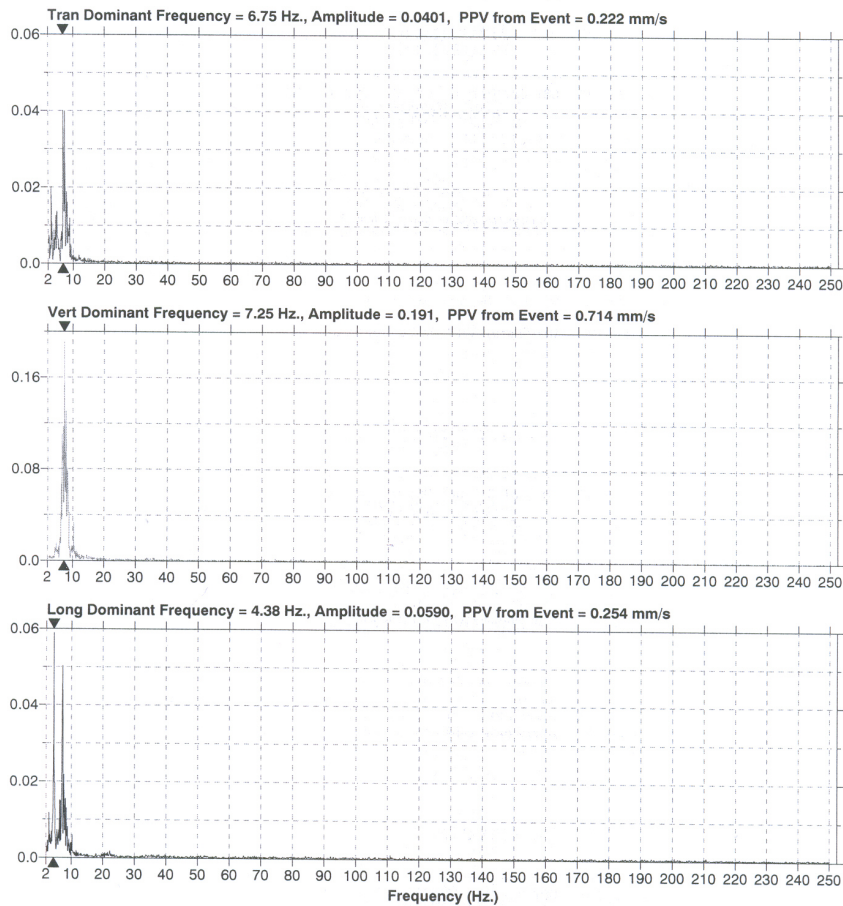
Maapohja radan alla Limingan selvitysalueen kohdalla vaihtelee pohjatutkimusten perusteella savisesta siltistä hiekkaiseen silttiliejuun. Painokairaukset on päätetty yleensä noin 10...15 metrin syvyydessä. Maakerrokset ovat pääosin löyhiä, leikkauslujuus vaihtelee yleensä välillä 15...50 kPa. Maanpinnan korkeus radan kohdalla on noin +5... +10.

Mittaukset tehtiin 27.3 klo 14 ja 29.3 klo 9 välisenä aikana. Tärinää taltioitiin 27 junausta, joista osa oli raskaita tavarajunia. Suurimman junan paino oli 3937 tonnia.

Kuvissa on 11 ja 12 on esitetty tyypillinen tärinän mittaustulos sekä aika- että taajuustasossa. Mittaustulos on Limingasta, mutta se vastaa myös muissa mittauskohteissa, Ruukin kohdetta lukuun ottamatta, mitattuja tärinöitä.



**Kuva 11.** Tärinän mittaustulos aikatasossa. Tärinä on selvästi suurinta pystysuunnassa (huippuarvo 1,67 mm/s).

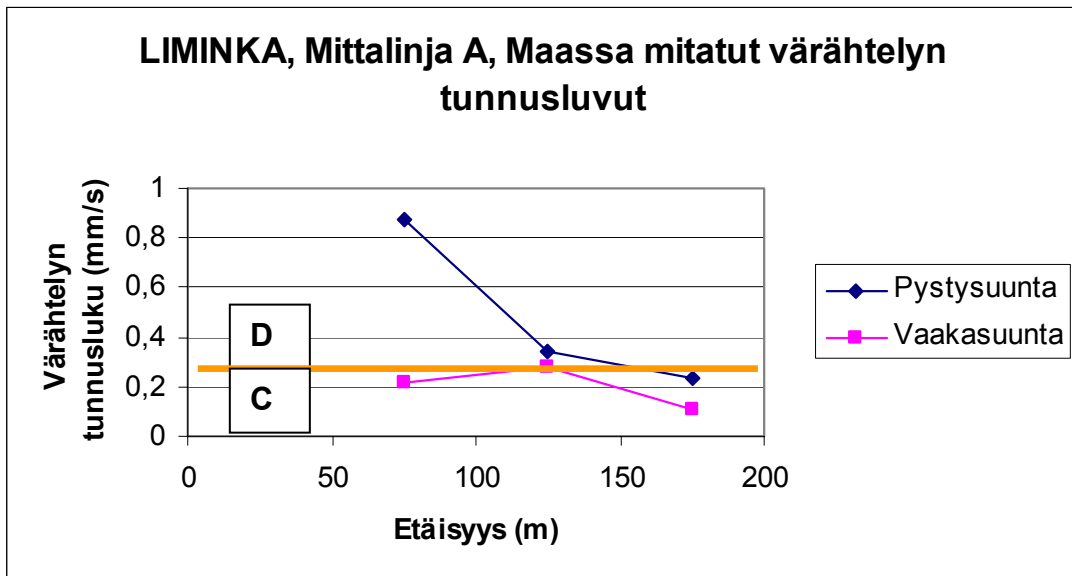


**Kuva 12.** Tärinän mittaustulos taajuustasossa. Tärinän hallitsevat taajuudet olivat 4...8 Hz kaikissa suunnissa.

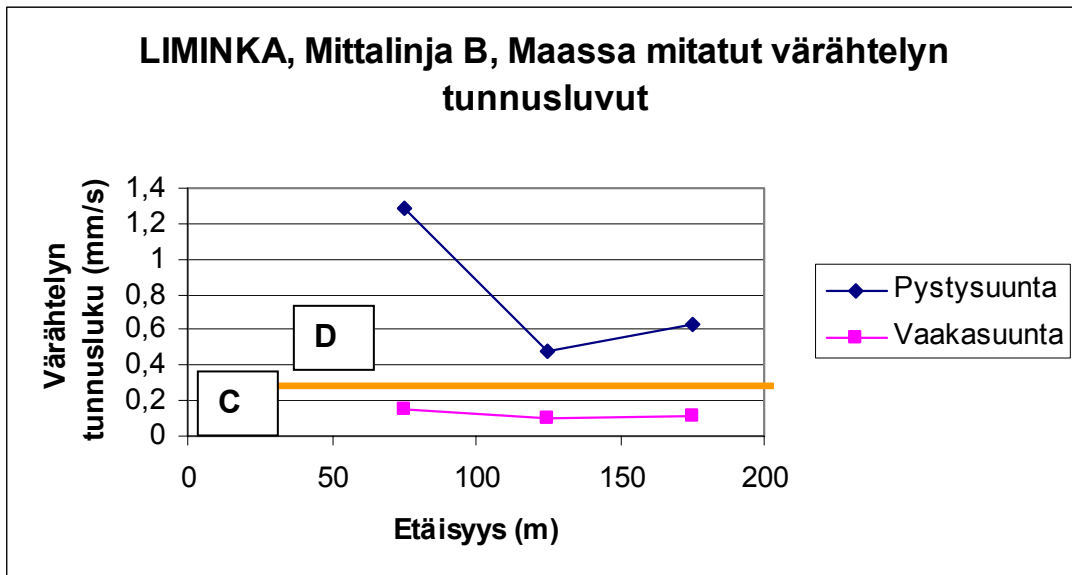
Tärinä oli selvästi suurinta pystysuunnassa. Suurin mitattu tärinän huippuarvo oli mittalinjalla B 75 metrin etäisyydellä radasta 2,16 mm/s, 175 metrin etäisyydellä radasta suurin mitattu huippuarvo oli mittalinjalla B, 1,27 mm/s. Tärinän taajuus oli yleensä kaikissa suunnissa välillä 4...8 Hz. Mittaustulosten yhteenveto on esitetty liitteessä 4.

Mitattujen huippuarvojen ja mittausten hajonnan perusteella määritetyt värähtelyn tunnusluvut maassa on esitetty mittaustuloina kuvissa 13,14,15 ja 16 sekä yhteenvetona kuvassa 17. Määrittäminen perustuu siihen oletukseen, että värähtelyn tunnusluku on 50 % huippuarvojen perusteella määritetystä tunnusluvusta (ks. johdanto).

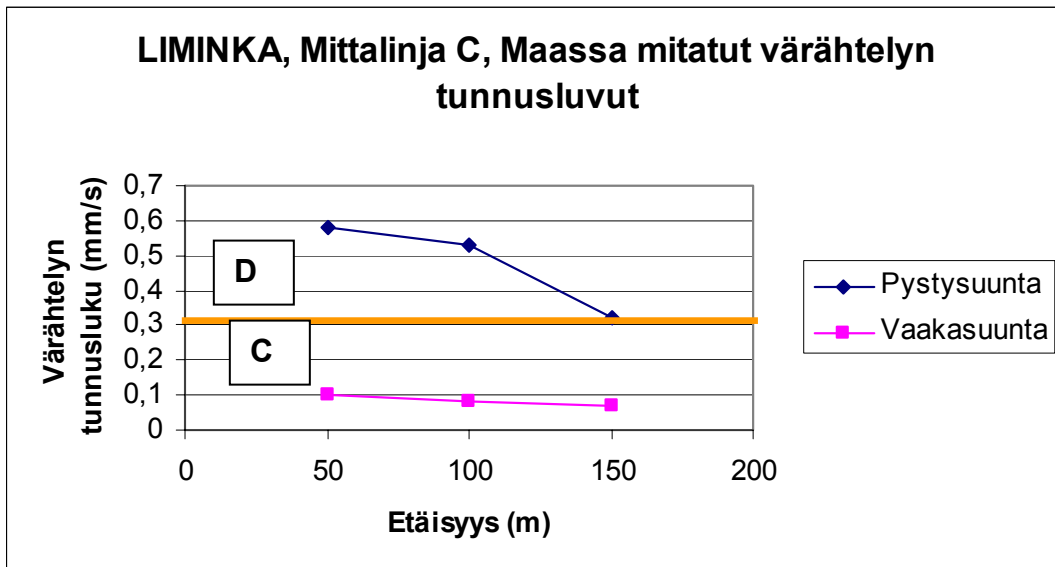




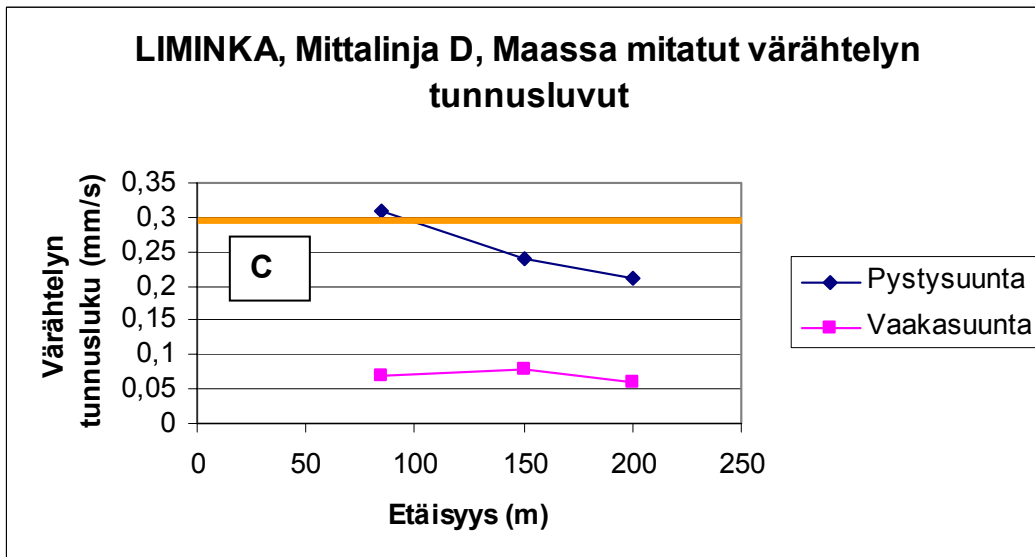
**Kuva 13.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla A, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75, 125 ja 175 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).



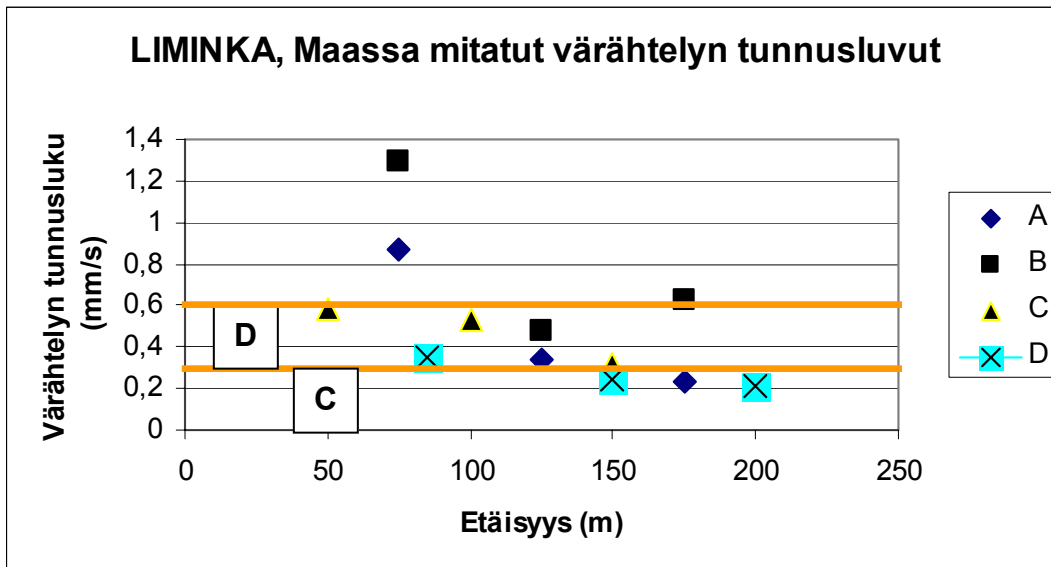
**Kuva 14.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla B, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75, 125 ja 175 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).



**Kuva 15.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla C, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 50, 100 ja 150 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).



**Kuva 16.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla D, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 85, 150 ja 175 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).



**Kuva 17.** Maasta mitatut mittalinjojen pystysuuntaisen värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat Limingassa. Kuvassa ei ole esitetty värähtelyluokan C alarajaa (0,15 mm/s).

Värähtely oli suurinta mittalinjan B kohdalla. Tämä saattaa johtua pehmeikön alla olevan tiiviimmän maakerroksen noususta lähelle maanpintaa keskustan alueella. Tätä ei voida kuitenkaan todeta radan kohdalta käytettävissä olevista pohjatutkimuksista. Vähäisintä tärinä oli mittalinjan D kohdalla. Ero radan vastakkaisella puolella olevan mittalinjan C tuloksiin oli kuitenkin pieni. Saattaa olla, että mittalinjan D kohdalle rakennettu usean metrin korkea maapenger vähentää jonkun verran tärinää, erityisesti penkereen kohdalla ja sen läheisyydessä.

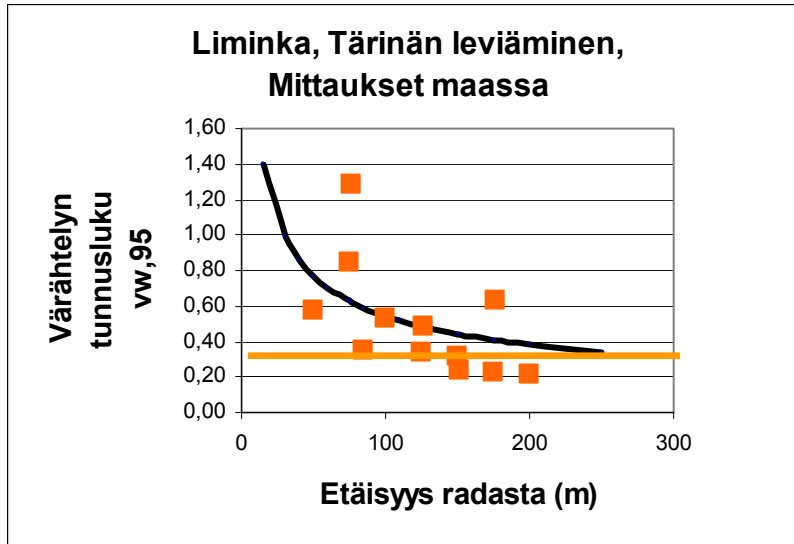
Erillisessä mittauspisteissä H1 ylittyi mittausten kynnyсарvo ainoastaan kerran. Tärinän huippuarvo oli tällöin vaakasuunnassa 0,37 mm/s ja pystysuunnassa 0,13 mm/s. Mittauspisteessä H2 ylittyi mittausten kynnyсарvo viisi kertaa. Suurin huippuarvo oli sekä vaaka- että pystysuunnassa 0,54 mm/s. Mittauspiste H2 oli kiinnitetty kerrostalon perustuksiin noin 80 metrin etäisyydelle radasta. Mitatut pystysuuntaiset tärinän arvot olivat jonkun verran pienempiä kuin maasta samalta etäisyydeltä mitatut pystysuuntaisen tärinän arvot. Vaakasuunnassa kerrostalon perustuksista mitatut arvot olivat maasta mitattuja arvoja suurempia. Kerrostalosta mitatun tärinän taajuus oli noin 4...6 Hz. Mittauspisteessä H3 ylittyi mittausten kynnyсарvo kolme kertaa, suurin huippuarvo oli pystysuunnassa 0,68 mm/s ja vaakasuunnassa 0,33 mm/s. Mittauspisteen H3 etäisyys radasta on noin 200 metriä. Pientalojen perustuksista mittauspisteissä H1 ja H3 mitatut taajuuden olivat noin 5 Hz. Pientalojen perustuksista mitatut pystysuuntaiset tärinän arvot vastaavat suuruusluokaltaan maasta samalta etäisyydeltä mitattuja arvoja, vaakasuunnassa perustuksista mitatut arvot olivat suurempia kuin maasta samalla etäisyydellä mitatut arvot.

Yksikerroksisissa rakennuksissa arvioidaan tärinän olevan sama kuin sen vieressä maassa, jolloin tärinän vahvistuskerroin rakenteissa on yksi. Näin ollen ulottuu yksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue 150...250 metrin etäisyydelle radasta.

Kaksikerroksisissa rakennuksissa värähtely yleensä vahvistuu siirtyessään maasta rakenteisiin. Keskimäärin vahvistuminen on noin puolitoistakertaista, ja selvästi suurinta vaakasuunnassa. Vahvistuminen riippuu liikennetärinän taajuudesta ja rakenteen ominaistaajuuksista. Yleensä vahvistuminen on kaksikerroksisissa rakennuksis-

sa suurinta resonanssitaajuudella noin 4...7 Hz. Koska vaakasuuntaisen värinän suuruus oli mittauksissa selvästi pystysuuntaista värinää vähäisempää, voidaan arvioida että kaksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan alue D on likimain sama kuin yksikerroksisten rakennusten vastaava alue ja ulottuu noin 150...250 metrin etäisyydelle radasta. Kerrostaloissa matalataajuinen värinä, noin 5 Hz, ei yleensä vahvistu.

Kuvassa 18 on esitetty ennustusmallin perusteella lasketut pystysuuntaisen värähtelyn tunnusluvut maassa etäisyyden suhteen.



**Kuva 18.** Mittausten ja ennustusmallin perusteella määritetyt värähtelyn pystysuuntaiset tunnusluvut maassa Limingan alueella. Mittaustulokset punainen neliö. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja (0,30 mm/s).

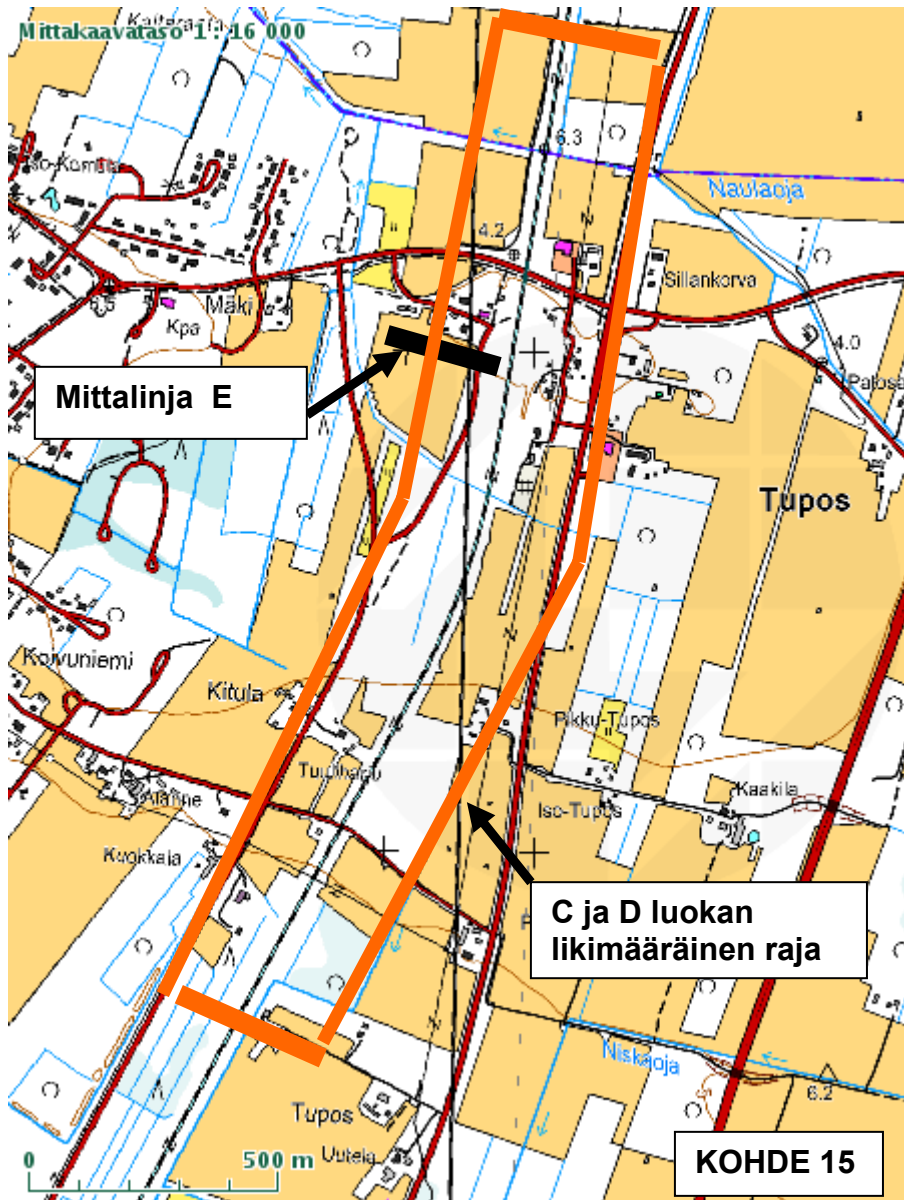
## 2.5 Tupos (15, kmv 734+000 – 736+000)

Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdyssä värinäselvityksessä arvioitiin värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 120 – 1200 metriä. Värähtelyluokka D:tä tai sitä suuremmalle värinälle altistuvien asukkaiden lukumääräksi arvioitiin noin 50.

Maapohja mittauspaikean kohdalla radan alla on löyhää hiekkaa. Painokairaukset on lopetettu yleensä noin 5 – 10 metrin syvyyteen. Osa kairauksista on päättynyt kiveen tai lohkareseen.

Mittalinjan E paikka valittiin yhteistyössä Limingan kunnanarkkitehti Pentti Kelan kanssa (kuva 19). Maahan kiinnitettyjen mittareiden etäisyys radasta oli 100 m, 150 m ja 200 m. Tarkemmin mittauspisteiden paikat on esitetty liitteessä 5. Mittaukset tehtiin 29.3 klo 7 ja 31.3 klo 9 välisenä aikana. Värinää taltiointiin seitsemästä rakkaasta tavarajunasta, joiden painot olivat noin 2400...4000 tonnia.

Värinä oli selvästi suurinta pystysuunnassa. Suurin mitattu värinän huippuarvo oli 100 metrin päässä radasta 0,95 mm/s, 150 metrin päässä radasta 0,84 mm/s ja 200 metrin päässä radasta 0,64 mm/s. Värinän taajuus oli yleensä kaikissa suunnissa 5...7 Hz. Mittaustulosten yhteenveto on esitetty liitteessä 5.



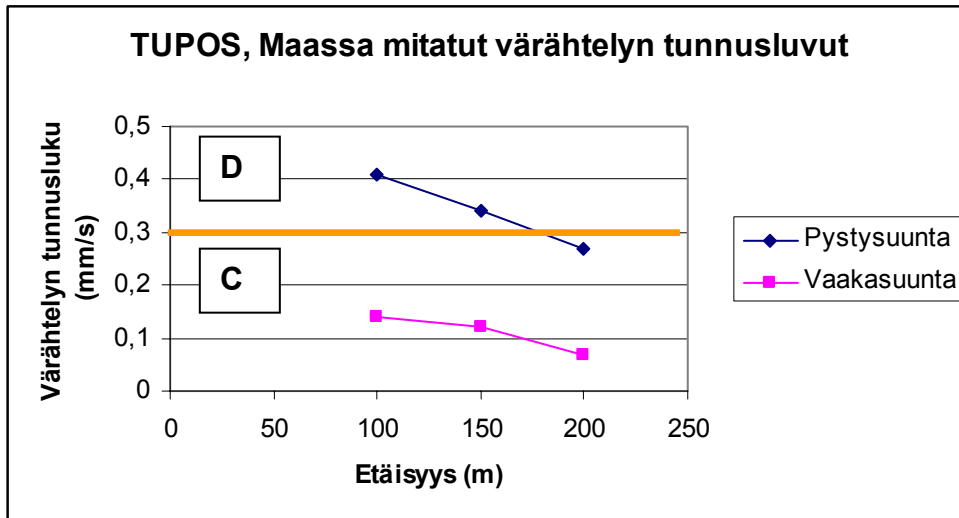
**Kuva 19.** Tärinän riskialue Tuposissa. Poikkiviivat radan kohdalla rajaavat tarkastelualueen. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on merkitty kuvaan likimääräisesti. Värähtelyluokka D on lähempänä rataa rajan sisällä.

Mitattujen huippuarvojen ja mittausten hajonnan perusteella määritetyt värähtelyn tunnusluvut maassa on esitetty kuvassa 20. Määritys perustuu siihen olettamukseen, että värähtelyn tunnusluku on 50 % huippuarvojen perusteella määritetystä tunnusluvusta (ks. johdanto).

Yksikerroksisissa rakennuksissa arvioidaan tärinän olevan sama kuin sen vieressä maassa, jolloin tärinän vahvistuskerroin rakenteissa on yksi. Näin ollen ulottuu yksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue mittausten perusteella noin 180 metrin etäisyydelle radasta.

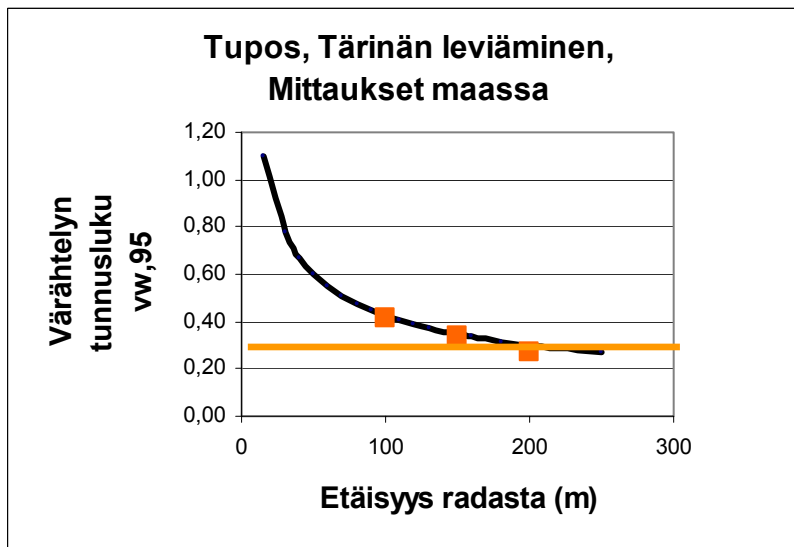
Kaksikerroksisissa rakennuksissa värähtely yleensä vahvistuu siirtyessään maasta rakenteisiin. Keskimäärin vahvistuminen on puolitoistakertaista, ja selvästi suurinta vaakasuunnassa. Vahvistuminen riippuu liikennetärinän taajuudesta ja rakenteen ominaistajuuksista. Yleensä vahvistuminen on kaksikerroksisissa rakennuksissa suurinta resonanssitaajuudella noin 4...7 Hz. Koska vaakasuuntaisen tärinän suu-

ruus oli mittauksissa selvästi pystysuuntaista tärinää vähäisempää, voidaan arvioida että kaksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan alue D on likimain sama kuin yksikerroksisten rakennusten vastaava alue ja ulottuu noin 180 metrin etäisyydelle radasta.



**Kuva 20.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).

Kuvassa 21 on esitetty ennustusmallin perusteella lasketut värähtelyn tunnusluvut maassa etäisyyden suhteen.



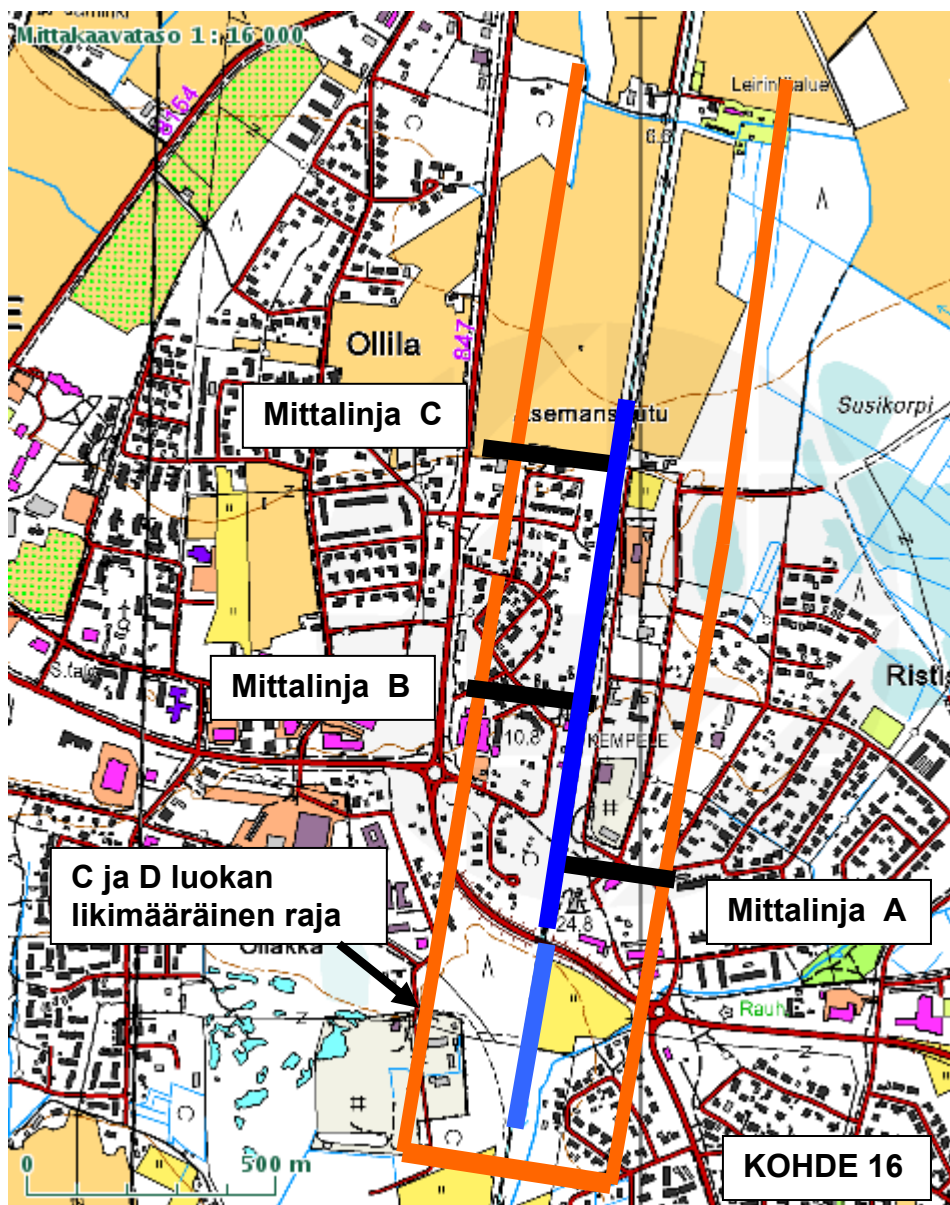
**Kuva 21.** Mittausten ja ennustusmallin perusteella määritetyt värähtelyn pystysuuntaiset tunnusluvut maassa. Mittaustulokset punainen neliö, neliö. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja (0,30 mm/s).

## 2.6 Kempele (16 kmv 740+120 - 744+120)

Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdyssä tärinäselvityksessä arvioitiin värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 150 – 1000 metriä. Värähtelyluokka D:tä tai sitä suuremmalle tärinälle altistuvien asukkaiden lukumääräksi arvioitiin noin 150. Alueella on yli 3000 tonnin junille nopeusrajoitus 50 km/h.

Mittalinjojen paikat valittiin yhteistyössä Kempeleen kaavoitusinsinööri Pekka Salme-  
lan kanssa. Vaikka YVA:ssa määritelty tärinäriskialue ulottuu selvästi Kempeleen  
Asemanseutua pohjoisemmaksi, keskitettiin mittaukset taajaman Asemansedun  
alueelle. Maahan kiinnitettyjen mittareiden etäisyys radasta oli 50 – 200 metriä (kuva  
22). Mittauspisteiden sijainti on tarkemmin esitetty liitteessä 6. Maapohja radan alla  
Kempeleen aseman kohdalla on pohjatutkimusten perusteella pääosin löyhää hiek-  
kaa. Tarkasteltavan tärinäalueen molemmissa päissä on hiekan lisäksi radan alla  
myös sillikerrostumia ja laihaa savea. Osa kerrostumista on liejuisia. Maanpinnan  
korkeus radan kohdalla on noin +6... +10. Korkeimmillaan rata on Kempeleen ase-  
man kohdalla. Painokairaukset on lopetettu yleensä noin 5 – 15 metrin syvyyteen.

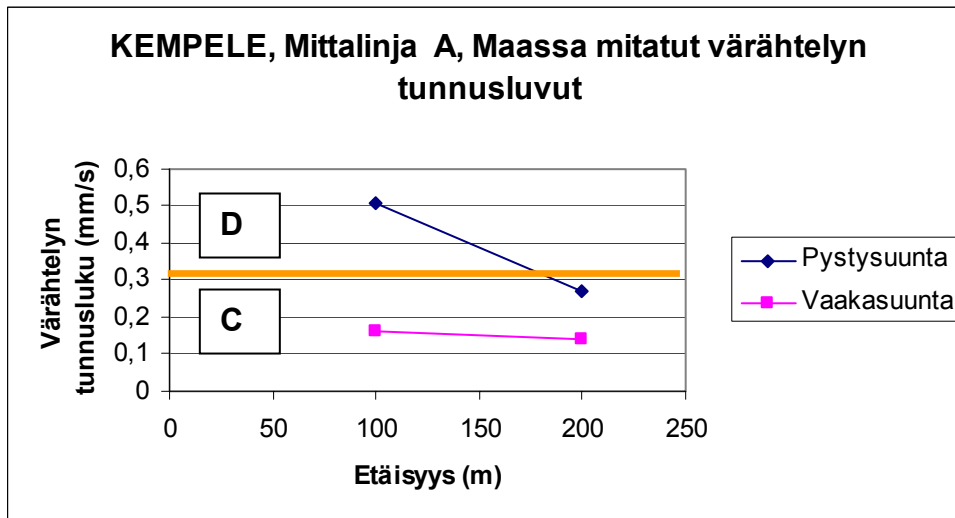
Mittaukset tehtiin 29.3 klo 9 ja 31.3 klo 7 välisenä aikana. Tärinää taltioitiin 32 junas-  
ta, joista osa oli raskaita tavarajunia. Suurimman junan paino oli 4028 tonnia.



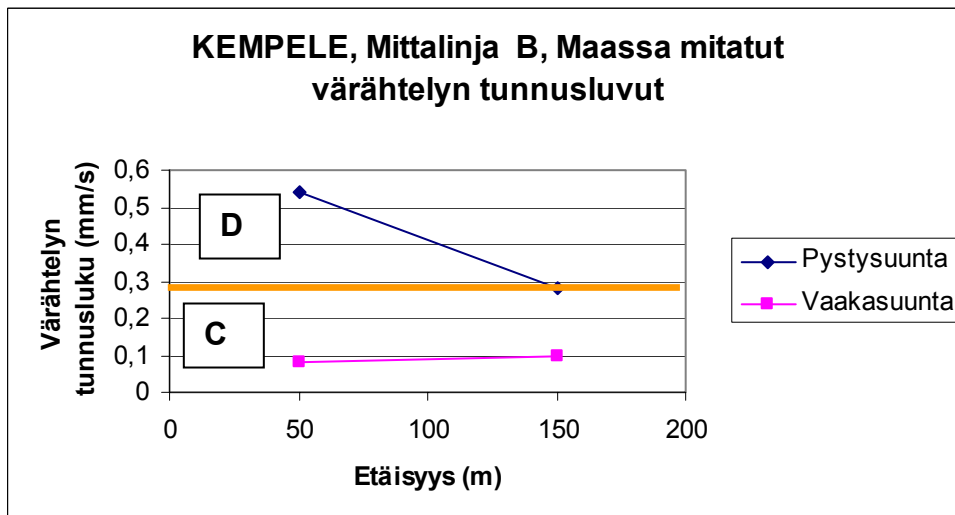
**Kuva 22.** Tärinän riskialue Kempeleessä. Poikkiviiva radan kohdalla rajaa tarkastelualueen etelässä.. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on merkitty kuvaan likimääräisesti. Värähtelyluokka D on lähempänä rataa, rajan sisällä. Ehdotus tärinän vähentämistoimenpiteiden li-  
kimääräiseksi sijainniksi on merkitty kuvaan sinisellä.

Tärinä oli selvästi suurinta pystysuunnassa. Suurin mitattu tärinän huippuarvo oli 50 metrin etäisyydellä radasta 0,78 mm/s, 75 metrin etäisyydellä radasta 1,44 mm/s ja 100 metrin etäisyydellä radasta 0,64 mm/s. Tärinän taajuus oli yleensä kaikissa suunnissa yleensä välillä 6...8 Hz. Mittaustulosten yhteenveto on esitetty liitteessä 6.

Mitattujen huippuarvojen ja mittausten hajonnan perusteella määritetyt värähtelyn tunnusluvut maassa on esitetty mittaustulosten kuvissa 23,24,25 ja yhteenvetona kuvassa 26. Määrittäminen perustuu siihen oletukseen, että värähtelyn tunnusluku on 50 % huippuarvojen perusteella määritetystä tunnusluvusta (ks. johdanto).

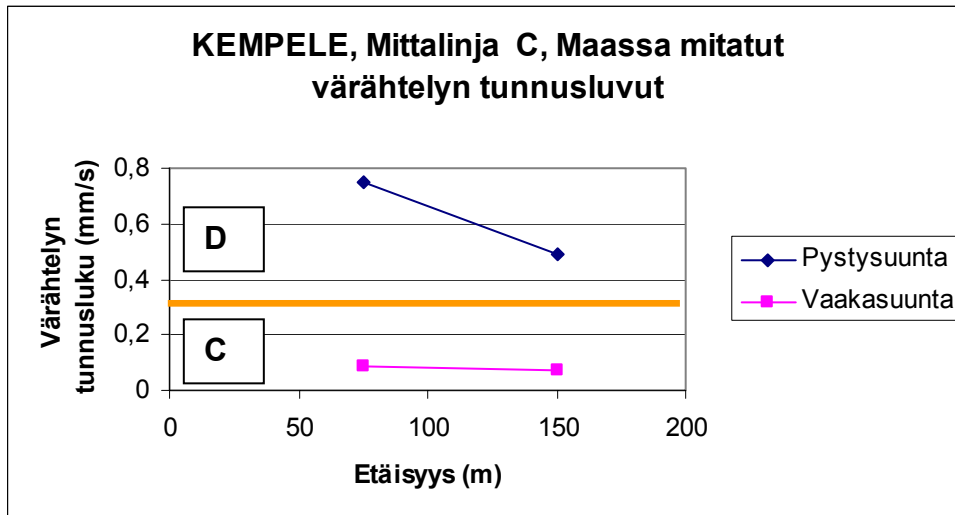


**Kuva 23.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla A, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 100 ja 200 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).

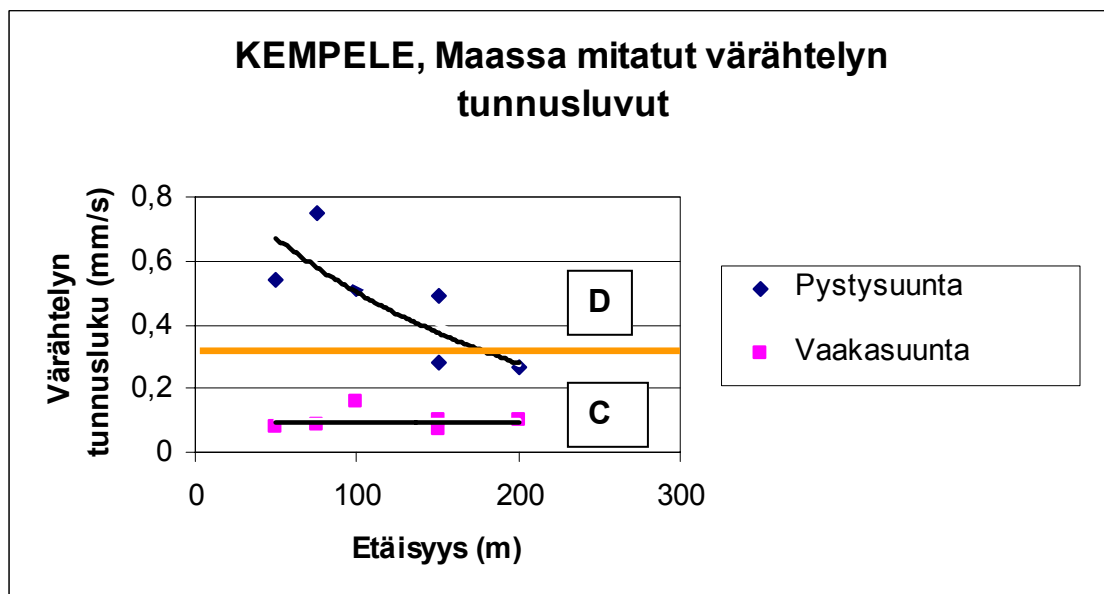


**Kuva 24.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla B, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 50 ja 150 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).





**Kuva 25.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla C, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75 ja 150 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).



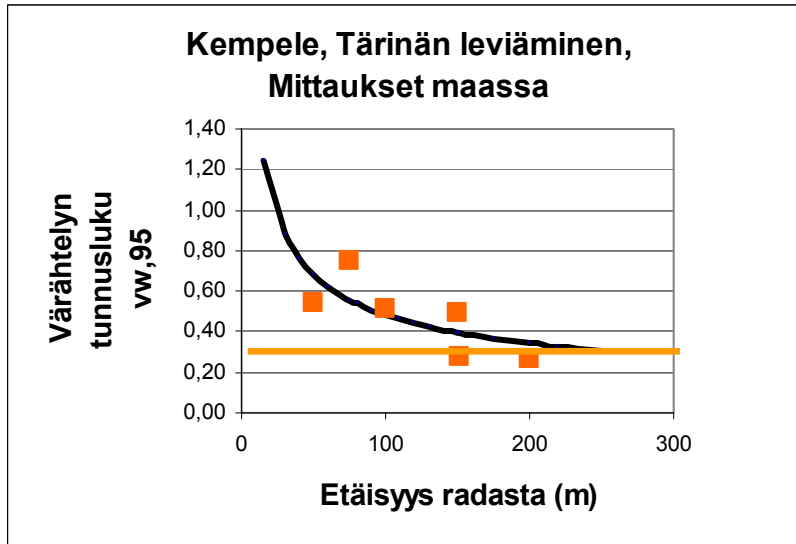
**Kuva 26.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjoilla Kempeleessä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).

Yksikerroksisissa rakennuksissa arvioidaan tärinän olevan sama kuin sen vieressä maassa, jolloin tärinän vahvistuskerroin rakenteissa on yksi. Näin ollen ulottuu yksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue hiekkaisella maapohjalla 150...180 metrin etäisyydelle radasta (mittalinjat A ja B) ja hienorakeisemmalla maapohjalla (mittalinja C) yli 200 metrin etäisyydelle radasta.

Kaksikerroksisissa rakennuksissa värähtely yleensä vahvistuu siirtyessään maasta rakenteisiin. Keskimäärin vahvistuminen on noin puolitoistakertaista, ja selvästi suurinta vaakasuunnassa. Vahvistuminen riippuu liikennetärinän taajuudesta ja rakenteen ominaistuuksista. Yleensä vahvistuminen on kaksikerroksisissa rakennuksissa suurinta resonanssitaajuudella noin 4...7 Hz. Koska vaakasuuntaisen tärinän suuruus oli mittauksissa selvästi pystysuuntaista tärinää vähäisempää, voidaan arvioida

että kaksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan alue D on likimain sama kuin yksikerroksisten rakennusten vastaava alue ja ulottuu noin 200 metrin etäisyydelle radasta.

Kuvassa 27 on esitetty ennustusmallin perusteella lasketut värähtelyn tunnusluvut maassa etäisyyden suhteen.



**Kuva 27.** Mittausten ja ennustusmallin perusteella määritetyt värähtelyn pystysuuntaiset tunnusluvut maassa Kempeleen alueella. Mittaustulokset punainen neliö. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja (0,30 mm/s).

## 2.7 Oulu

Oulun kaupungin alueella on kaksi Ympäristön vaikutusten arvioinnissa määritettyä tärinäriskialuetta 17 ja 18. Kohteessa 17 arvioitiin Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 170 - 1200 metriä ja värähtelyluokka D:tä tai sitä suuremmalle tärinälle nykyisin altistuvien asukkaiden lukumääräksi noin 150. Kohteessa 18 puolestaan arvioitiin Ympäristön vaikutusten arvioinnin yhteydessä värähtelyluokan D:n etäisyydeksi radasta 100 - 600 metriä ja värähtelyluokka D:tä tai sitä suuremmalle tärinälle nykyisin altistuvien asukkaiden lukumääräksi noin 100.

Mittalinjojen paikat valittiin yhteistyössä Oulun kaupungin vs. yleiskaavapäällikkö Paula Korkalan kanssa. Oulun kaupungin käsityksen mukaan mittauspisteitä olisi saanut olla enemmän kattavan käsityksen saamiseksi koko alueesta. Tehdyn toimeksiannon perusteella tässä tärinäselvityksessä ei ollut mahdollista lisätä mittauslinjojen lukumäärää.

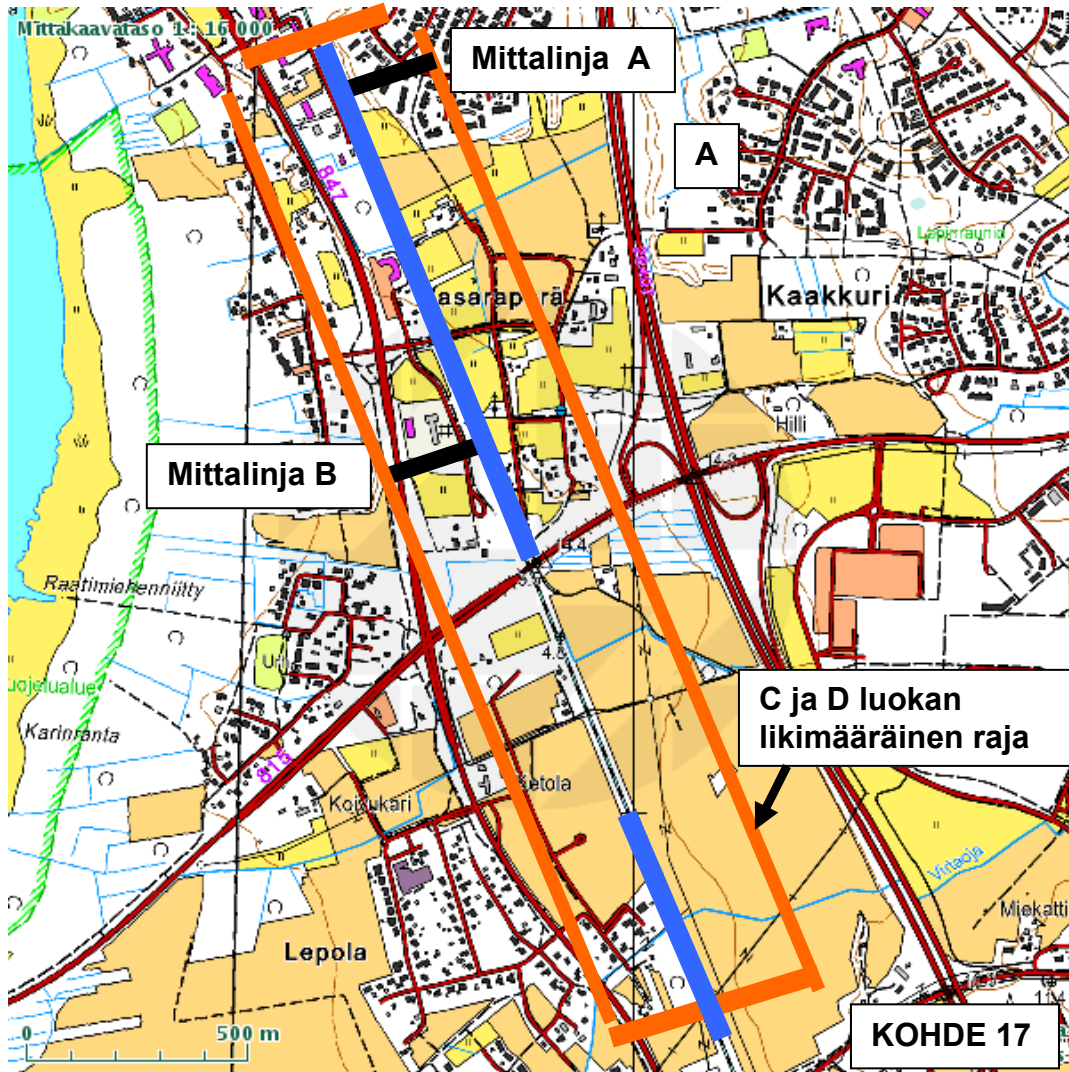
Mittauslinjojen A,B,C ja D anturit kiinnitettiin kiinteästi maahan. Maahan kiinnitettyjen mittareiden etäisyys radasta oli 75 – 175 metriä (kuvat 28 ja 31). Tarkemmin on mittauspisteiden paikat esitetty liitteessä 7.

Maanäytetietoja on tarkasteltavilta osuuksilta niukasti saatavissa. Maapohja radan alla Oulun selvitysalueiden kohdilla on pohjatutkimusten perusteella pääosin savista ja hiekkaisista silttiä, paikka paikoin hiekkaiset maakerrokset nousevat maanpinnan tun-

tumaan. Painokairaukset on päätetty yleensä noin 10...15 metrin syvyydessä. Maanpinnan korkeus radan kohdalla on noin +5... +6.

Mittaukset tehtiin 31.3 klo 14 ja 2.4 klo 8 välisenä aikana. Tärinää taltioitiin 15 junasta, joista osa oli raskaita tavarajunia. Suurimman junan paino oli 5238 tonnia.

### 2.7.1 Oulu, (17 kmv 745+000 – kmv 747+500)

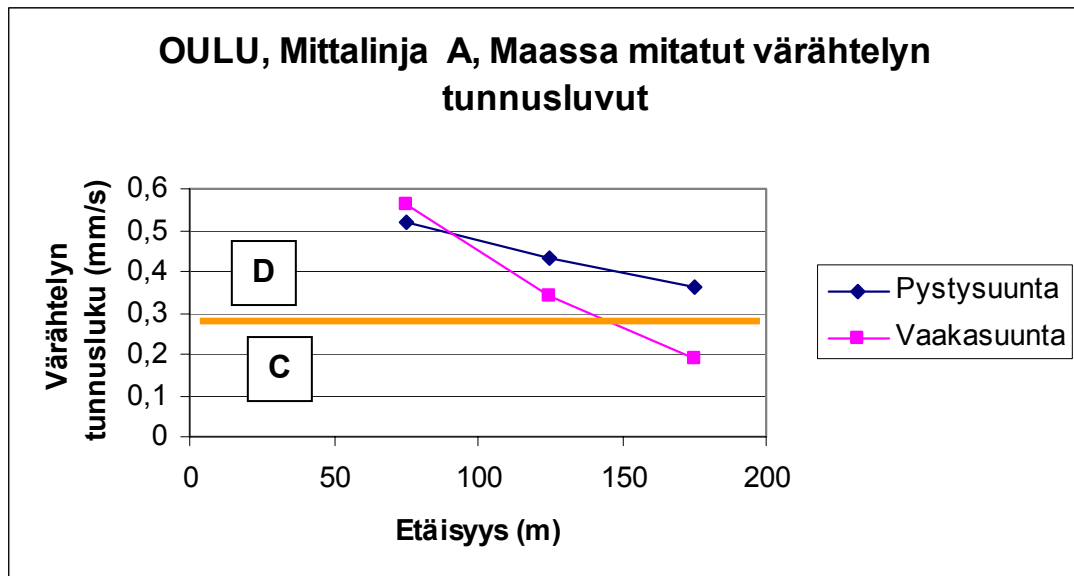


**Kuva 28.** Tärinän riskialue 17 Oulussa. Poikkiviivat radan kohdalla rajaavat tarkastelualueen. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on merkitty kuvaan likimääräisesti. Värähtelyluokka D on lähempänä rataa, rajan sisällä. Ehdotus tärinän vähentämistoimenpiteiden likimääräiseksi sijainniksi on merkitty kuvaan sinisellä.

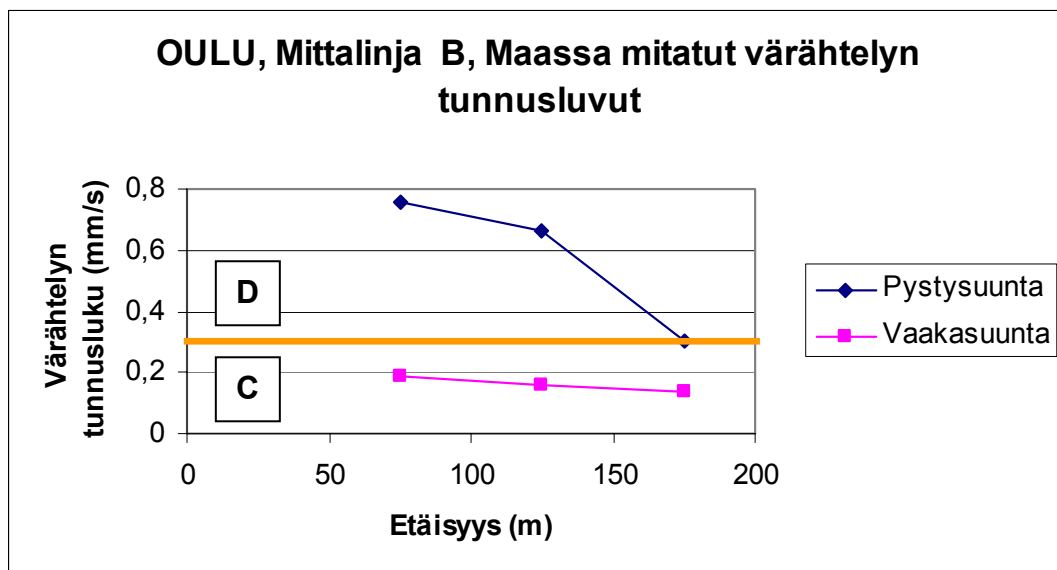
Tärinä oli selvästi suurinta pystysuunnassa. Suurin mitattu tärinän huippuarvo oli mittalinjalla B, 75 metrin etäisyydellä radasta 1,21 mm/s, 175 metrin etäisyydellä radasta suurin mitattu huippuarvo oli mittalinjalla A, 0,89 mm/s. Tärinän taajuus oli yleensä kaikissa suunnissa välillä 5..8 Hz. Mittaustulosten yhteenvedo on esitetty liitteessä 7.

Mitattujen huippuarvojen ja mittausten hajonnan perusteella määritetyt värähtelyn tunnusluvut maassa on esitetty mittaustulosten kuvissa 29,30 ja yhteenvedona ku-

vassa 32. Määrittäminen perustuu siihen oletukseen, että värähtelyn tunnusluku on 50 % huippuarvojen perusteella määritetystä tunnusluvusta (ks. johdanto).



**Kuva 29.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla A, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75, 125 ja 175 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s)



**Kuva 30.** Maasta mitatut värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat mittalinjalla B, jossa mitauspisteiden etäisyydet radasta olivat 75, 125 ja 175 metriä. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s)

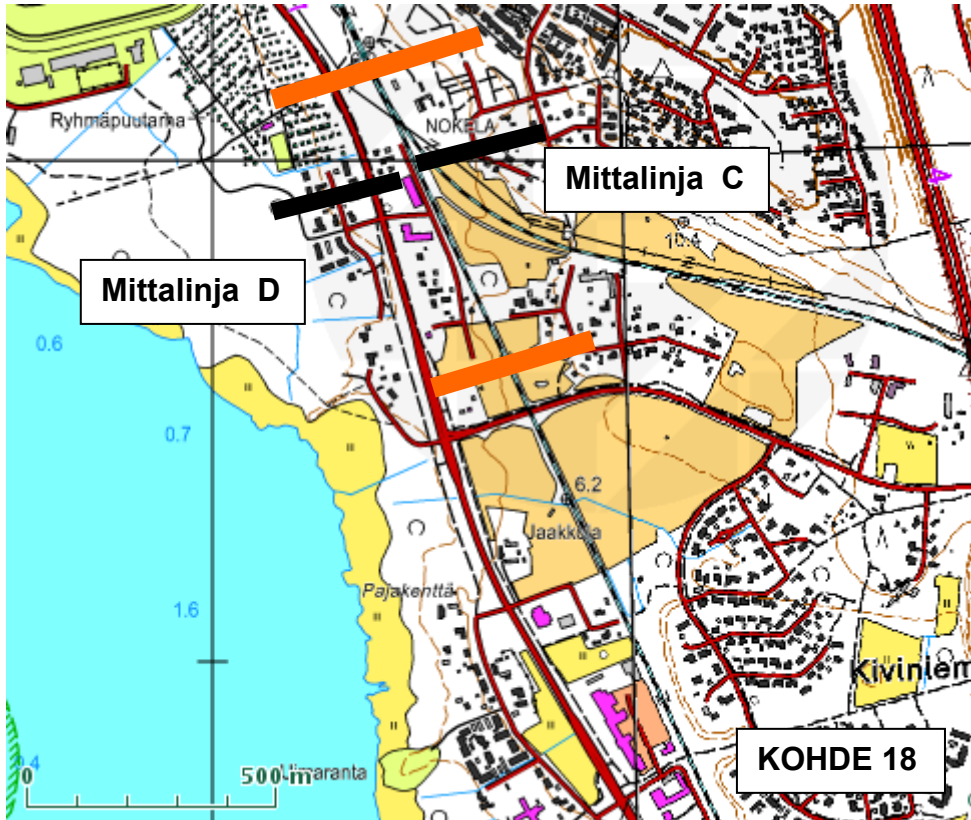
### 2.7.2 Oulu (18 kmv 7485+500 – kmv 749+000)

Kohteessa 18 tärinä ylitti mittareiden kynnyksarvon vain muutaman kerran. Mittauslinjalta C ei saatu taltioiduksi yhtään rataliikenteen aiheuttamaa tärinää. Mittauslinjalla D suurin mitattu tärinän huippuarvo oli 75 metrin etäisyydellä radasta 0,40 mm/s ja 125 metrin etäisyydellä radasta 0,41 mm/s. Kauempana 175 metrin etäisyydellä radasta ei saatu taltioiduksi yhtään tärinähavaintoa. Kaiken kaikkiaan tärinämittaustuloksia oli mittauslinjalla D viidestä junasta. Tärinän taajuus oli yleensä kaikissa suunnissa välil-

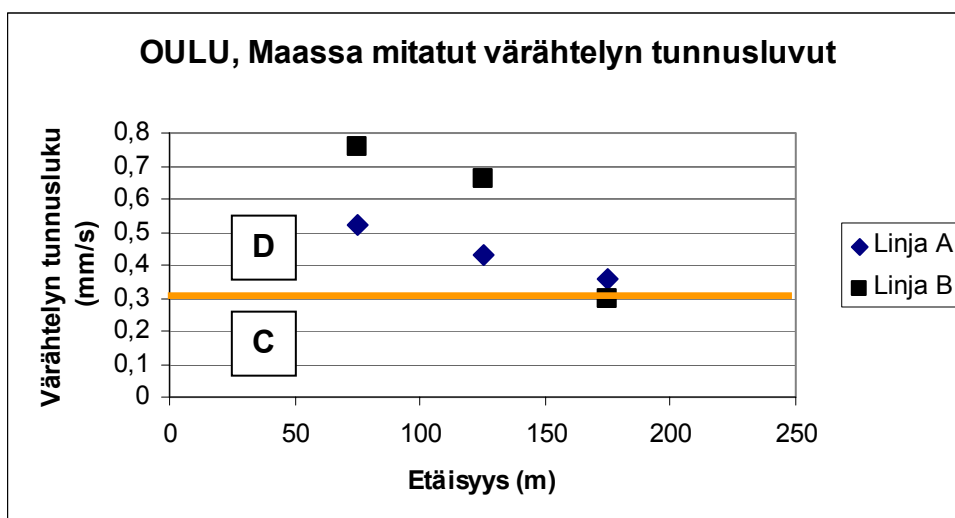
lä 6...11 Hz. Koska mittaustuloksia on vähän ei tilastollista tarkastelua voitu tehdä. Suuntaa antavasti voidaan arvioida, että värähtelyluokka oli alhaisempi kuin D jo 75 metrin etäisyydellä radasta.

Syynä verrattain alhaisiin tärinätasoihin mittauslinjojen C ja D kohdalla voi olla maapohja, joka linjojen läheisyydessä on paikoitellen keskitiivistä tai tiivistä. Toisena syynä voi olla Oulun ratapihan läheisyys ja samalla junien ajonopeuksien alhaisuus.

Kohteen 18 eteläosassa värähtelyriskialueen tarkentaminen vaatii lisäselvityksiä.



**Kuva 31.** Tärinän riskialue 18 Oulussa. Poikkiviivat radan kohdalla rajaavat tarkastelualueen. Värähtelyluokkien D ja C välinen raja on noin 75 metrin etäisyydellä radasta.

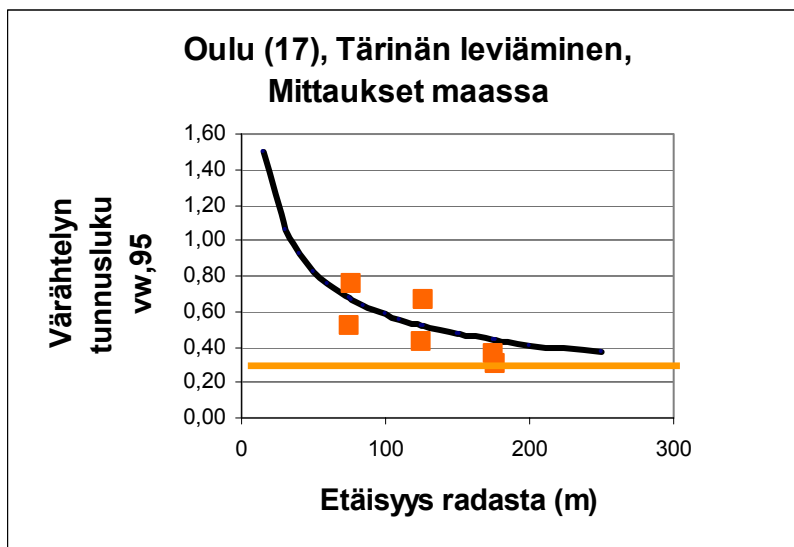


**Kuva 32.** Maasta mitatut mittalinjojen pystysuuntaisen värähtelyn tunnusluvut ja värähtelyluokat Limingassa. Kuvassa on esitetty värähtelyluokista ainoastaan värähtelyluokkien D ja C raja (0,3 mm/s).

Yksikerroksisissa rakennuksissa arvioidaan tärinän olevan sama kuin sen vieressä maassa, jolloin tärinän vahvistuskerroin rakenteissa on yksi. Näin ollen ulottuu yksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan D alue noin 180 metrin etäisyydelle radasta (mittalinjat A ja B) ja mittalinjoilla C ja D korkeintaan 75 etäisyydelle radasta..

Kaksikerroksisissa rakennuksissa värähtely yleensä vahvistuu siirtyessään maasta rakenteisiin. Keskimäärin vahvistuminen on noin puolitoistakertaista, ja selvästi suurinta vaakasuunnassa. Vahvistuminen riippuu liikennetärinän taajuudesta ja rakenteen ominaistajuuksista. Yleensä vahvistuminen on kaksikerroksisissa rakennuksissa suurinta resonanssitaajuudella noin 4...7 Hz. Koska vaakasuuntaisen tärinän suuruus oli mittauksissa selvästi pystysuuntaista tärinää vähäisempää, voidaan arvioida että kaksikerroksisten rakennusten värähtelyluokan alue D on likimain sama kuin yksikerroksisten rakennusten vastaava alue ja ulottuu noin 200 metrin etäisyydelle radasta.

Kuvassa 33 on esitetty ennustusmallin perusteella lasketut värähtelyn tunnusluvut maassa etäisyyden suhteen.



**Kuva 33.** Mittausten ja ennustusmallin perusteella määritetyt värähtelyn pystysuuntaiset tunnusluvut maassa Oulun alueella (kohde 17). Mittaustulokset punainen neliö. Kuvassa on esitetty värähtelyluokkien D ja C raja (0,30 mm/s).

### 3. YHTEENVETO

Ympäristötärinämittaukset tehtiin yksinkertaistettuna. Kohdekohtainen mittausaika oli noin 40 tuntia, joka sisälsi kahden yön aikaiset mittaukset, jolloin raskaat tavarajunat yleensä liikennöivät. Kaikissa mittauskohteissa ei mittausaikana voitu taltioida 15 raskaan junan aiheuttamaa tärinää. Tähän oli syynä paitsi liikennemäärät, myös se että riittävän etäällä radasta ei tärinän suuruus ylittänyt käytettyä kynnysarvoa, joka oli yleensä 0,3 mm/s.

Värähtelyn tunnusluvun arvioitiin olevan 50 % mitattujen heilahdusnopeuden huippuarvojen tunnusluvusta. Arviointi perustuu aikaisemmin tehtyihin mittauksiin, joissa värähtelyn tunnusluku on ollut yleensä 40...60 % huippuarvon tunnusluvusta, joissakin mittauksissa arvo ollut jonkun verran pienempi. Mittaukset tehtiin pääosin maasta, jolloin tärinän siirtymistä rakenteisiin arvioitiin aikaisemman tiedon perusteella. Limingan ja Kempeleen mittauskohteiden alueella on raskailla yli 3000 tonnin junilla 50 km/h nopeusrajoitus.

Vaikka tärinämittaukset on tehty yksinkertaistettuna ja tärinän siirtyminen rakennuksiin riippuu suuresti, kerrosluvusta ja rakenteista, voidaan suurella todennäköisyydellä arvioida, että Oulaisissa (10), Vihannissa (11), Limingassa (13), Kempeleessä (15) ja Oulussa (17) rautatieliikenteen tärinän värähtelyluokka on laajalla alueella vähintään D tai suurempi. Ratateknisissä ohjeiden (RATO), osan 3 Radan rakenne mukaan uusille radoille ja radoille, joilla liikennenopeutta tai akselipainoja nostetaan aikaisempaan verrattuna, sovelletaan tärinän tunnusluvun luokkaa C.

Taulukossa 3 on esitetty tämän tärinäselvityksen perusteella arvioidut tärinäriskialueiden laajuudet, arvio niiden alueella asuvien ihmisten määrästä ja alustava ehdotus tärinän vähentämiseksi, kun tavoitteena on vähintään värähtelyluokka C.

**Taulukko 3.** Tarkasteltavat alueet ja alustavat ehdotukset tärinän vähentämiseksi.

Kohde	Liikennepaikka	Ihmisiä D-luokka	D-luokan etäisyys ra- dasta (m)	Ehdotus tärinän vähen- tämiseksi
10	Oulainen	100-150	noin 150	Paalulaatta
11	Vihanti	50	noin 75 -150	Paalulaatta
12	Tuomioja- Ruukki			
13	Liminka – Kem- pele	400-500	noin 200 - 300	Paalulaatta
15	Liminka – Kem- pele	20	noin 200 - 300	
16	Liminka- Kem- pele	250-350	noin 200 - 300	Paalulaatta
17	Kempele – Ou- lu	150-200	noin 200 - 300	Paalulaatta
18	Kempele – Oulu			Tarvitaan täydentäviä mit- tauksia

Tehtyjen mittausten perusteella on värähtelyluokan D vaikutusalue riskikohteissa yleensä Ympäristönvaikutusten arvioinnissa arvioitua suppeampi (vrt.taulukko1). Sen sijaan vaikutusalueella asuvien ihmisten määrä saattaa olla Ympäristönvaikutusten arvioinnissa esitettyä suurempi. Palvelutason parantamisen jälkeen tärinätaso voi jossain määrin kasvaa junien keskimääräisen painon ja akselipainojen kasvaessa ja liikennemäärien lisääntyessä. Toisaalta radan kunto paranee ja se vähentää tärinää. Tärinätason nousuksi on tässä arvioitu 10...20 %. Tärinän lisääntyminen ei olennaisesti kasvata tärinän vaikutusalueita.

Vaikka viime vuosina on myös Suomessa tutkittu rautateiltä ympäristöön leviävän tärinän vähentämistä, liittyy ratkaisuihin vielä runsaasti epävarmuutta. Seuraavassa tarkastellaan kahta tärinän vähentämiskäytäntöä: paalulaattaa ja tärinän eristysseinää. Molempien rakentamisesta on Suomessa kokemusta. Kolmannen menetelmän radan alusrakenteen stabiloinnin vaikutus tärinään on joidenkin mittausten ja teoreettisten tarkasteluiden perusteella ollut vähäistä. Koska junaliikenteen hallitseva taajuusalue oli mittauksissa alhainen, noin 5...8 Hz, eivät ratapölkkyjen tai radan alle asennettavat vaimennuselementit ole tehokkaita. Poikkeuksellisesti Vihannin tarkasteltavan alueen keskellä (linja B) oli havaittavissa myös toinen merkittävä taajuusalue välillä 30...40 Hz. Tällä kohdalla maapohja on todennäköisesti hiekkaa.

Paalulaatta vähentää nykyisen käsityksen mukaan ympäristöön leviävää tärinää noin 60...80%. Arvio on kuitenkin likimääräinen, koska vertailevia mittauksia ei ole riittävästi tehty. Suurinta vähennys on luultavasti pehmeillä savilla, joiden alapuolella on välittömästi moreeni tai kallio. Tällöin värähtelyenergia siirtyy pääosin paalun kärjen kautta kovaan pohjaan ja ympäristön tärinä jää vähäiseksi. Hiekkamailla, joita on tämän selvityksen tärinäriskialueella esimerkiksi Kempeleessä ja osin Vihannissa, lieenee vähennys esitetyn alarajoilla, koska merkittävä osa tärinästä voi siirtyä paalujen vaippavastuksen kautta ympäristöön. Paalulaatan kustannus on uudella radalla suuruusluokaltaan 2000...3000 €/ratametri. Liikennöitävillä raiteilla kustannus on noin kaksinkertainen. Kustannuksiin vaikuttavat mm. paalutusolosuhteet ja paalujen pituus.

Mikäli paalulaatta vähentää oletetusti ympäristöön siirtyvää tärinää pienenee värähtelyluokan D alue ja alueen raja olisi noin 50 metrin etäisyydellä radasta. Tällöin lähes kaikkien asuinrakennusten värähtelyluokka olisi C, B tai A paalulaatan vaikutusalueella ja tärinätaso alittaisi RATO:n ohjearvot perusparannettavalle radalle.

Tärinäneristysseinä voidaan pehmeiköllä rakentaa pilaristabiloimalla tai teräsponttiseinä. Teräsponttiseinä on rakennettavissa myös hiekkamaahan. Tehokkaasti toimivan seinän syvyys on oltava noin aallonpituuden syvyinen, tarkasteltavissa kohteissa vähintään noin 15 metriä. Joissakin kohteissa, kuten Oulaisissa, Vihannissa ja Kempeleessä, riittävän syvän eritysseinän rakentaminen voi olla vaikeaa, koska tiiviit maakerrostumat ulottuvat paikoin lähelle maanpintaa..

Sekä stabilointi- että ponttiseinän kustannus on suuruusluokaltaan 1000...1500 €/ratametri. Tärinäneristysseinä vähentää tehtyjen tutkimusten mukaan tärinätasoa noin 50 % seinän välittömässä läheisyydessä. Kauempana seinästä vaikutus pienenee ja seinän vaikutus tärinään on noin 50...80 metrin etäisyydellä vähäinen. Tärinäneristysseinä kannattaa rakentaa mahdollisemman lähelle asuinrakennuksia. Alustavien tarkasteluiden perusteella, eristysseinä ei vähennä riittävästi tärinää ja vä-



rähtelyluokan D etäisyys radasta on lähes sama kuin ilman eristysseinää. Seinän läheisyydessä tärinätaso alenee, mutta jäänee vielä värähtelyluokan D alueelle.

Kun paalulaatta voidaan tehdä kaksoisraiteelle olemassa olevan radan viereen, se on lähes yhtä edullinen kuin eristysseinän rakentaminen molemmille puolille rataa. Paalulaatan toiminnan voidaan arvioida olevan parempi kuin eristysseinän, lisäksi radan perustaminen paalulaatalle vähentää radan muodonmuutoksia ja kunnossapitokustannuksia. Paalulaatta eristetään perusmaasta solumuovilla värähtelyiden siirtymisen vähentämiseksi, jolloin eristeellä on yleensä merkitystä myös routasuojauksessa.

Paalulaatan tärinää vähentävän vaikutuksen varmistaminen edellyttää lisätutkimuksia ja koerakentamista.

Värähtelyluokan D alueen laajuus on esitetty lähinnä yksikerroksisille asuinrakennuksille, joita on selvästi eniten. Kaksikerroksisissa rakennuksissa tärinä yleensä vahvistuu, jolloin värähtelyluokan D vaikutusalue on jonkun verran laajempi. Värähtelyluokan D alueella asuvien ihmisten määrän arviointi on likimääräinen. Se perustuu karttapohjalta arvioituihin asuinrakennusten lukumääriin ja olettamukseen, että yhdessä asunnossa asuu keskimäärin kolme asukasta.

Mahdollisen tärinäeristysratkaisun suunnittelu on tehtävä paikallisten olosuhteiden, kaavoitustilanteen, riittävien pohjatutkimusten ja muiden esiselvitysten perusteella. Kustannustehokkaiden ratkaisuiden valitsemisessa on otettava huomioon se miten moni asukas hyötyy tärinän vähentämisestä nykyisin ja mahdollisesti uudisrakentamisen kautta tulevaisuudessa. Raportissa olevat riskialueiden kartat eivät ole kaikilta osin ajan tasalla. Paikoin radan lähialueille on rakennettu uudisrakennuksia, joita ei ole esitetty kartoissa. Tärinäriskit on otettava huomioon edelleen myös yhdyskuntasuunnittelussa, erityisesti siellä missä tärinän vähentäminen teknisin keinoin ei ole taloudellisesti mahdollista.

Kohteissa 10 ja 11 tärinän vähentäminen koskisi melko pientä ihmismäärää. Näissä kohteissa tärinän vähentämisen kustannus on merkittävästi suurempi siihen verrattuna kuinka monta asukasta hyötyy tärinän vähentämisestä kuin kohteissa 13, 5, 16 ja 17.

Kohteen 18 eteläosassa tarvitaan lisätärinämittauksia tärinän vähentämistarpeen selvittämiseksi.

Ratahallintokeskuksen tärinän mittausohjeen (Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin – vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen 16.11.2001) mukainen raja-arvo hyväkuntoisille rakennuksille on > 4...6 mm/s. Tällöin raja-arvo on ilmoitettu tärinän suurimpana arvona, huippuarvona. Rautatietärinästä ei ole odotettavissa haittaa rakennuksille ja rakenteille.