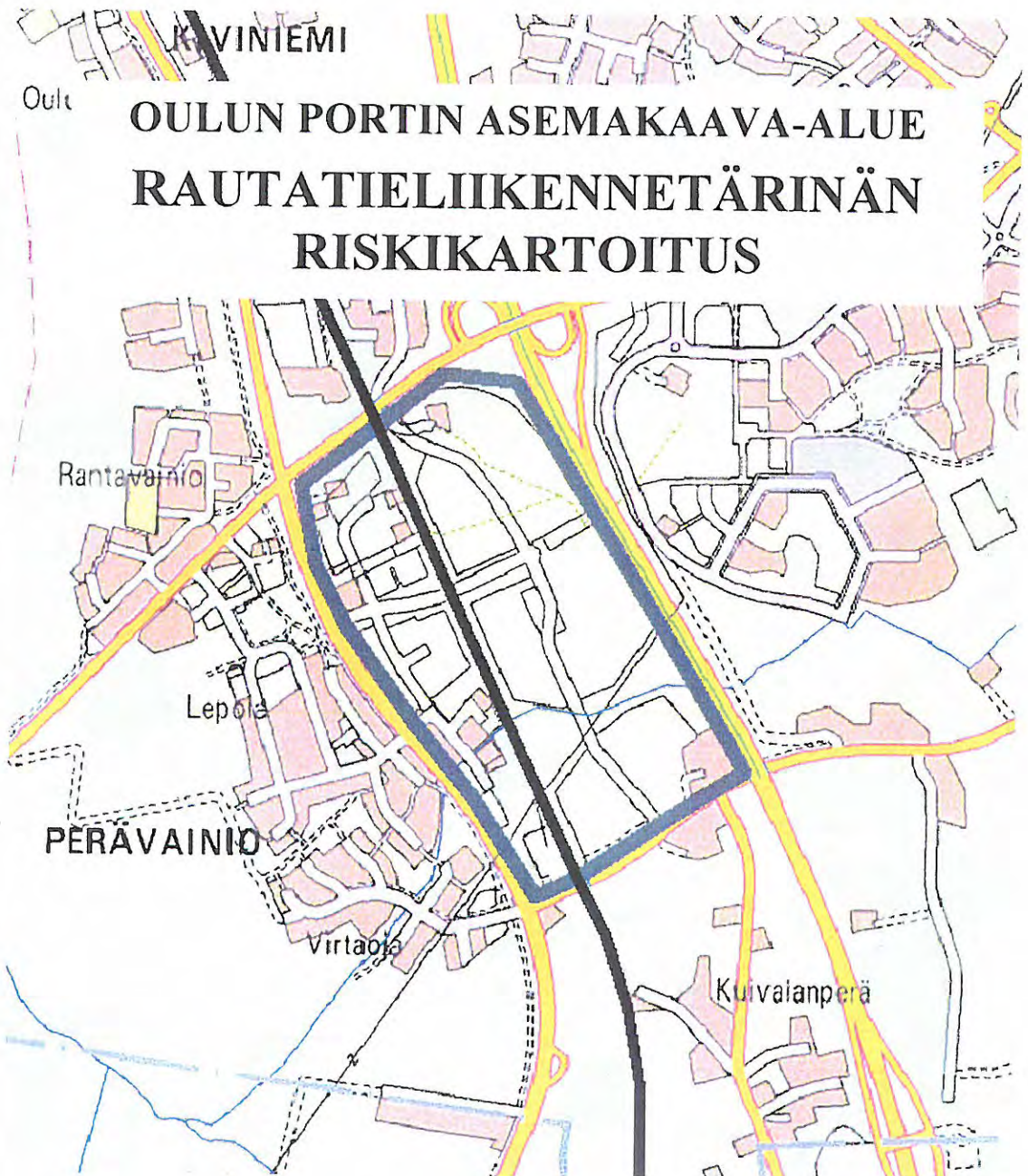


OULUN KAUPUNKI  
Katu- ja viherpalvelut  
PL 32  
90015 OULUN KAUPUNKI

Työ n:o 9447  
29.1.2003



## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>TEHTÄVÄ</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MITTAUKSET JA SELVITYKSET</b> .....	<b>1</b>
2.1	Lähtötiedot .....	1
2.2	Katselmus.....	1
2.3	Tärinämittausten suoritus .....	2
2.31	Mittauspaikat ja anturien sijoittelu.....	2
2.32	Mittauskalusto .....	2
2.33	Mitatut junat .....	2
2.34	Mittaustapa ja signaalien käsittely.....	3
2.4	Tulosten käsittely .....	4
2.41	Tärinän laskennallinen tarkastelu.....	4
2.42	Tärinäaluerajaukset.....	4
<b>3</b>	<b>SELVITYSALUEEN KUVAUS</b> .....	<b>4</b>
3.1	Yleiskuvaus.....	4
3.2	Tiedot radasta ja rautatieliikenteestä.....	4
3.21	Rata.....	4
3.22	Junaliikenne.....	5
3.3	Maaperäolosuhteet .....	5
3.4	Selvitysalueen rakennuskanta .....	6
3.41	Nykyiset rakennukset .....	6
3.42	Tulevat rakennukset.....	6
<b>4</b>	<b>TÄRINÄMITTAUSTULOKSET MAAPERÄSTÄ</b> .....	<b>7</b>
4.1	Tulokset.....	7
4.2	Tulosten arviointia .....	8
<b>5</b>	<b>TÄRINÄALUERAJAUKSET</b> .....	<b>9</b>
5.1	Ennustekäyrän laskenta.....	9
5.2	Tärinäalueet.....	11
<b>6</b>	<b>TÄRINÄRISKIEN HUOMIOON OTTAMINEN</b> .....	<b>12</b>
6.1	Vaurioriskit .....	12
6.2	Häiriöriskit .....	13
6.3	Tärinäherkät tilat .....	14
<b>7</b>	<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>15</b>

## 1 TEHTÄVÄ

Oulun kaupungin toimeksiannosta on Geobotnia Oy tehnyt selvityksen rautatieliikenteen aiheuttamista tärinäriskeistä Oulun Portin asemakaava-alueella. Asemakaava-alue sijoittuu osin Kaakkurin ja osin Perävainion kaupunginosiin, VT4:n ja Limingantien (vanhan 4-tie) väliin pääradan molemmin puolin, Oulunlahdentien – Lentokentäntien eteläpuolelle. Tällä hetkellä alue on suurimmaksi osaksi peltoa. Alueella on muutamia asuinrakennuksia.

Kaavassa alue on pääosin varattu liike- ja toimistorakennusten sekä toimitilarakennusten korttelialueiksi, palvelemaan tutkimus-, opetus- ja kehitystoimintaa. Alueen eteläosasta on varattu myös korttelialueita teollisuusrakennuksille. Tärkeimmäksi alueen käyttäjäksi on kaavailtu elektroniikkateollisuusyrityksiä, joiden toimitilat rakennuttaisi Technopolis Oyj. Radan länsipuolella on pienehköllä alueella myös erillispientalojen kortteleita, jotka sijoittuvat alueelle, jossa on olemassa olevia pientaloja.

Tärinäriskikartoitus on toteutettu VTT:n ohjetta ”Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin - vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen” soveltaen. Selvitys perustuu maaperän tärinämittauksiin ja niiden perusteella tehtyihin tärinän leviämistä kuvaaviin laskennallisiin tarkasteluihin.

Tärinämittaukset on toteutettu marras- ja joulukuussa 2002.

## 2 MITTAUKSET JA SELVITYKSET

### 2.1 Lähtötiedot

Selvitysalueelta on koottu olemassa oleva lähtöaineisto. Käytössä on ollut seuraava aineisto:

- Oulun kaupungin pohjakartta.
- Oulun Portin asemakaava (17.6.2002)
- Kaava-alueen rakennettavuusselvitys (Geobotnia Oy, työ n:o 8842, 25.9.2000) sekä siihen liittyvät Oulun kaupungin toimesta tehdyt pohjatutkimukset.
- Rataosalla liikkuvien junien tyypit, aikataulut ja painot.

Alueen tärinäriskejä on arvioitu asemakaavassa esitetyn maankäytön ja rakennusten tyyppin pohjalta. Lisätietoja alueen tulevien käyttäjien tarpeita on hankittu keskustelemalla Technopolis Oyj:n edustajan Seppo Selmgrenin kanssa.

### 2.2 Katselmus

Alueella on tehty maaperägeologinen katselmus, jossa on tarkistettu ja todettu pohjakartalta ja rakennettavuusselvityksen maaperäkartalta ilmenevät asiat.

Katselmuksen perusteella on valittu tärinänmittauspaikat, joissa raskaiden junien aiheuttama tärinä on mitattu maaperästä. Mittauspaikat on valittu edustamaan alueella esiintyviä erilaisia maapohjatyyppisiä.

## 2.3 Tärinämittausten suoritus

### 2.31 Mittauspaikat ja anturien sijoittelu

Selvitysalueelta valittiin neljä poikkileikkausta, joissa tärinän leviämistä ympäristöön selvitettiin mittauksilla ja laskennallisesti. Mittauspaikat valittiin maaperägeologisista perusteista.

Mittauspaikkojen sijainti oli seuraava:

- Linja 1, rata-km 745+933 linjan suunta kaakkoon
- Linja 2, rata-km 745+443 linjan suunta länteen
- Linja 3, rata-km 745+443 linjan suunta itään
- Linja 4, rata-km 745+057 linjan suunta itään

Linjojen sijainti ilmenee liitteenä olevasta tutkimuskartasta.

Mittauspaikat 2 ja 3 valittiin pohjasuhteiltaan ennakkoon tärinän suhteen ongelmallisimmalta, paksulta pehmeiköltä tutkimusalueen keskiosalla. Linja 1 sijoittuu alueen pohjoisosalle paikkaan, jossa pehmeikköpaksuus nopeasti ohenee ja loppuu. Linja 4 edustaa eteläosan pohjasuhteiltaan hieman parempaa aluetta.

Kullekin mittauslinjalle sijoitettiin kolme anturia, joiden etäisyydet vaihtelivat eri linjoilla 30...200 metriä raiteesta. Anturien kohdalle tehtiin maahan kuoppa, jonka pohjalle upotettiin 500 mm:n terästanko pystyyn. Anturi kiinnitettiin tangon yläpäähän ruuvaamalla. Kuoppa täytettiin ja tiivistettiin hiekalla siten, että anturi jäi peittoon, noin 100 mm maanpinnan alapuolelle.

### 2.32 Mittauskalusto

Mittalaitteena käytettiin kahta (2) Blastmate series III -merkkistä tärinämittaria. Mittarit ovat nelikanavaisia siten, että yksi kanava on kiinteästi varattu mikrofoniin (äänen paine) ja kolme kanavaa tärinän mittaukseen.

Mittareissa on käytetty nopeusantureita, joiden lineaarinen taajuusalue on 2...200 Hz. Anturit ovat nk. vertikaaliantureita, joilla on mitattu tärinän pystysuuntaista heilahdusnopeutta.

### 2.33 Mitatut junat

Mittaukset kohdistettiin raskaampiin rataosalla liikennöiviin juniin, jotka ovat Venäjältä tulevia malmijunia, joissa veturit ovat suomalaisia ja vaunukalusto venäläistä.

Kaikki mittaukset tehtiin säännöllisesti arkipäivisin liikennöivälle junalle n:o 5053, joka on Rautaruukin terästehtaalle Raaheen menevä malmikuljetus. Junien kokonaispainot olivat noin 5000...5100 tn ja pituudet pääosin 875 metriä. Junien keskimääräiset akselipainot olivat noin 21,5 tn. Mitatuissa junissa oli 3 veturia ja yleensä 59 vaunua.

Rataosalla liikennöi myös muita vastaavanpainoisia venäläisiä kuljetuksia, mutta mittausaikana näitä oli niin epäsäännöllisesti, että niitä ei mitattu.

Mittaukset ajoittuivat aikavälille 25.11. – 19.12.2002. Mittauksia tehtiin kullakin mittauslinjalla kuudelle (6) malmijunalle. Mitatut junat tietoineen on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Mitattujen junien yhteenveto.

Päivä	Kello	Mitatut linjat	Juna n:o	Juna-tyyppi	Kokonais-paino (tn)	Akseli-paino (tn)	Pituus (m)	Nopeus (km/h)
25.11.2002	18:09	Linjat 1 ja 4	5053	Ta/3/59	5105	21,6	875	65,5
26.11.2002	18:02	Linjat 1 ja 4	5053	Ta/3/59	5114	21,7	875	63,4
27.11.2002	17:57	Linjat 1 ja 4	5053	Ta/3/59	5088	21,6	875	60,8
2.12.2002	19:04	Linjat 1 ja 4	5053	Ta/3/59	5104	21,6	875	64,3
3.12.2002	18:03	Linjat 1 ja 4	5053	Ta/3/58	5018	21,6	861	61,3
5.12.2002	18:19	Linjat 1 ja 4	5053	Ta/3/59	5104	21,6	875	64,3
9.12.2002	17:59	Linjat 2 ja 3	5053	Ta/3/59	5049	21,4	875	61,6
10.12.2002	18:07	Linjat 2 ja 3	5053	Ta/3/59	5078	21,5	875	59,5
13.12.2002	18:01	Linjat 2 ja 3	5053	Ta/3/59	5047	21,4	875	61,5
16.12.2002	19:10	Linjat 2 ja 3	5053	Ta/3/59	5066	21,5	875	62,4
18.12.2002	18:02	Linjat 2 ja 3	5053	Ta/3/59	5066	21,5	875	58,9
19.12.2002	19:21	Linjat 2 ja 3	5053	Ta/3/59	5053	21,4	875	55,3

Junien tyyppi, numero, kokonaispaino, pituus ja akselien lukumäärä on selvitetty junaohjauksesta. Tiedoista on laskettu kunkin junan keskimääräinen akselipaino. Junien nopeudet on mitattu kunkin mittauskohteen kohdalla sekuntikellolla.

### 2.34 Mittaustapa ja signaalien käsittely

Mittaukset on tehty nk. täydellisenä mittauksena, jossa on tallennettu koko signaali. Signaalin näytteenottiheys oli 1024 näytettä/s.

Signaalimitoituksessa on kunkin mittausjakson aloitus tehty asettamalla mittaukselle kynnyсарvo, nk. triggerisarvo (0,3 mm/s), jonka ylittyessä mittaus on lauennut käyntiin.

Mittausdata on käsitelty Blastware-ohjelmistolla. Jokainen mittaus-signaali on tarkastettu graafisena kuvaajana. Tarkastetuista mittaus-signaaleista on poimittu kutakin junaa kohden:

- suurin pystysuora heilahdusnopeus (huippuarvo)
- tärinän dominoiva taajuus.

## 2.4 Tulosten käsittely

### 2.41 Tärinän laskennallinen tarkastelu

Mittaustuloksiin on sovitettu VTT:n ohjeen mukainen tärinän laskentamalli. Sovittamisessa on haettu laskentamallille kussakin mittauspaiassa erikseen sellainen etäisyyskseenponentti B, jolla lasketut arvot sopivat mittaustuloksiin parhaiten ottaen huomioon etäisyyden vaihtelu ja kaikki mitatut junat.

Kussakin mittauspaiassa on valittu tämän jälkeen suurimman tärinän aiheuttanut juna, jonka perusteella on laskettu ennustekäyrä rakennuksiin vaikuttavan heilahdusnopeuden ja rakennuksen etäisyyden vuorosuhteelle. Ennustekäyrän laskennassa on käytetty kaksikerroksisten rakennusten keskimääräistä tärinän vahvistuskertoimta  $F_B = 1,9$  kaikissa mittauspaiakoissa.

### 2.42 Tärinäaluerajaukset

Maaperätietojen, mittaustulosten ja laskennallisten tarkastelujen perusteella on rajattu tutkimusalueelta VTT:n tärinämittaushjeen mukaisesti seuraavat alueet:

- V-alue, jolla tärinän heilahdusnopeuden huippuarvo voi suurimmillaan ylittää rakennuksissa 3 mm/s.
- H-alue, jolla tärinän heilahdusnopeuden huippuarvo voi suurimmillaan olla rakennuksissa 1...3 mm/s.

## 3 SELVITYSALUEEN KUVAUS

### 3.1 Yleiskuvaus

Tutkimusalue rajoittuu lännessä Limingantiehen, idässä Vt4:ään, pohjoisessa Oulunlahdentiehen / Lentokentäntiehen ja etelässä Iinatintiehen. Asemakaava-alueen laajuus on n. 100 ha. Rata halkaisee kaava-alueen pituussuunnassa pohjoisluode – eteläkaakko –suuntaisena.

Kaava-alue on enimmäkseen viljelyskäytössä olevaa peltoa. Paikoin esiintyy koivikoita, yms. metsiköitä. Topografialtaan alue on hyvin tasainen. Maasto nousee loivasti itään pääosin tasovälillä +4...+6. Alueella on joitakin kaavateitä sekä viljelysteitä.

### 3.2 Tiedot radasta ja rautatieliikenteestä

#### 3.21 Rata

Rata on yksiraiteinen sähköistetty päärata, rataluokka C. Mittausalueella on betonipölkyt ja kiskotyypä on 54E1. Rata on alun perin rakennettu 1880-luvulla ja sen jälkeen perusparannettu useaan otteeseen. Viimeisin varsinainen

perusparannus on toteutettu 1960 – 70-lukujen taitteessa. Tämän jälkeen on tehty pölkkyjen vaihto ja raideseppelin täydennyksiä.

Rata on tutkitulla kohdalla maanvarainen. Ratapenger on suhteellisen matala, noin 1,5 metriä. Tutkimusalueen eteläreunalla rata ylittää Linatintien paaluille perustetulla sillalla. Tutkimusalueen keskiosalle suunnitellun Porttiväylän kohdalla ratasilta tulee myöskin todennäköisesti perustettavaksi paaluille.

### 3.22 Junaliikenne

Rataosalla liikennöi viikoittain lähes 200 junaa, joista suurin osa on henkilöjunia. Tavarajunista pääosa on suomalaisia kuljetuksia, joissa kokonaispainot ovat alle 3000 tn.

Raskaita venäläisiä malmijunia liikennöi viikossa 5...15 kpl. Yleensä tärinähaittaa aiheuttaa säännöllinen malmijuna 5053, joka ohittaa mittauspaikan arki-iltaisain yleensä klo 18 – 19. Muut raskaat junat liikennöivät epäsäännöllisesti ja huomattavasti harvemmin. Raskaiden venäläisten junien kokonaispainot ovat yleensä 5000 tn luokkaa.

### 3.3 Maaperäolosuhteet

Kaava-alue sijoittuu suurelta osin pehmeikölle. Pehmeikön paksuus vaihtelee tasaisesta maanopinasta huolimatta varsin paljon. Paksuimmillaan pehmeikkö on alueen pohjoisosassa Keräsentien alueella sekä Maaniityntien itä- ja pohjoispuolisella peltoalueella. Näillä alueilla pehmeän maan alapinta on paikoin yli 13 metrin syvyydessä maanpinnasta. Tyypillinen koko aluetta luonnehtiva pehmeikköpaksuus on välillä 7...10 metriä.

Noin 80 % kaava-alueesta voidaan kutsua pehmeikköalueeksi. Pehmeän maan maalaji vaihtelee laihasta savesta silttiin. Kerroksen yläosa on yleensä hyvin pehmeää ja painumaherkkää, plastista sulfidisavea. Syvemmällä esiintyy kerroksittaista, yleensä hieman sitkeämpää punertavaa lustosavea / -silttiä. Pehmeän maan pinnassa on yleensä ohut (0,5...1,5 metriä) kerros löyhää hienohiekkaa.

Alueen keskiosalla, radan ja VT4:n välissä on noin 10 ha alue (Pennasenniitty), jossa pehmeitä kerroksia ei esiinny. Tällä alueella pohjamaa on silttistä hiekkaa / hiekkaa. Myös kaava-alueen etelä- ja lounaisosassa pehmeikköpaksuus ohenee ja pehmeikkö ilmeisesti paikoin päättyy. Tällä alueella ei kuitenkaan ole riittävästi pohjatutkimuksia tarkempien johtopäätösten tekemiseksi.

Pohjavedenpinta on koko alueella suhteellisen lähellä maapintaa, yleensä 0,5...1,5 metrin syvyydessä.

Liitteenä on esitetty vuoden 2000 rakennettavuusselvityskartta, josta ilmenee alueen pehmeiden maakerrosten esiintymisalueet ja kerrospaksuuden voimakas vaihtelu sekä alueen rakennusten alustavat perustamistavat.

### 3.4 Selvitysalueen rakennuskanta

#### 3.41 Nykyiset rakennukset

Alueella on tällä hetkellä seuraava rakennuskanta:

- muutama pientaloja luoteisosassa, Pennasentie
- pientaloja 8 kpl länsireunalla, Maaniityntie ja Maaniitynkuja
- Kuivalan sähköasema alueen lounaisnurkalla
- Ojakankaan talo alueen kaakkoisnurkalla
- yksi pientalo alueen pohjoisosassa, Keräsentie.

Asuinrakennukset ovat 1 tai 1½ -kerroksisia puurakennuksia. Kaikki alueen rakennukset, mahdollisesti myös sähköaseman rakenteet ovat suurella todennäköisyydellä maanvaraisia.

#### 3.42 Tulevat rakennukset

Pääosalla radan itäpuolen kortteleita on kaavamerkintä K-4, joka sallii tutkimus-, opetus- ja kehitystoimintaa palvelevien liike- ja toimistorakennusten sekä julkisten ja yksityisten lähipalveluiden sijoittamisen. Rakennusten kerrosluku on pääosin 3...4. Kaava sallii myös yhden 12...14-kerroksisen rakennuksen eo. korttelialueilla. Tämä rakennus sijoittuu noin 300 metrin päähän radasta ei-pehmeikköalueelle.

Pääosalla radan länsipuolen kortteleista on kaavamerkintä KTY tai KL, jotka sallivat 1...2-kerroksisten toimitilarakennusten ja liikerakennusten sijoittamisen.

Selvitysalueen kaakkoisosassa on 1...2-kerroksisten teollisuusrakennusten korttelialueita, joissa ympäristö asettaa toiminnan laadulle erityisiä vaatimuksia (merkintä TY).

Selvitysalueelle on kaavoitettu myös vähäisessä määrin asuintontteja, jotka sijoittuvat nykyisiä asuinalueita täydentäen. Uusille asuintonteille voidaan rakentaa 1-kerroksisia pien- tai paritaloja.

Huomattava osa selvitysalueesta on kaavailtu Technopolis Oyj:n yritysten käyttöön. Technopolis Oyj:n edustajan, markkinointijohtaja Seppo Selmgrenin kanssa käydyin keskustelun (Selmgren / Nuutilainen, 10.1.2003) perusteella käyttäjien tarpeita voidaan tärinäriskien suhteen kuvailla seuraavasti:

- pääosa tiloista on tavanomaisia toimistotiloja, joissa tärinäriskit kohdistuvat rakenteisiin, ihmisten häiriintymiseen sekä tavanomaisiin ATK-laitteisiin.



- elektroniikkateollisuus suuntautuu kuitenkin enenevässä määrin ”nanotasolle”, jolloin häiriöttömien tuotekehitys-, testaus- ja mahdollisesti tuotantotilojenkin tarve kasvaa
- alueelta olisi hyvä pystyä osoittamaan alueita, joille häiriöttömien tilojen sijoittaminen parhaiten soveltuu
- tällä hetkellä ei ole tiedossa mitään konkreettista hanketta, jolla olisi erityisvaatimuksia tärinän suhteen, eikä häiriöttömien tilojen tarpeen laajuutta voida vielä ennakoida.

## 4 TÄRINÄMITTAUSTULOKSET MAAPERÄSTÄ

### 4.1 Tulokset

Tärinämittausten tulokset mittauslinjoilla 1...4 on esitetty junatietoineen liitteenä.

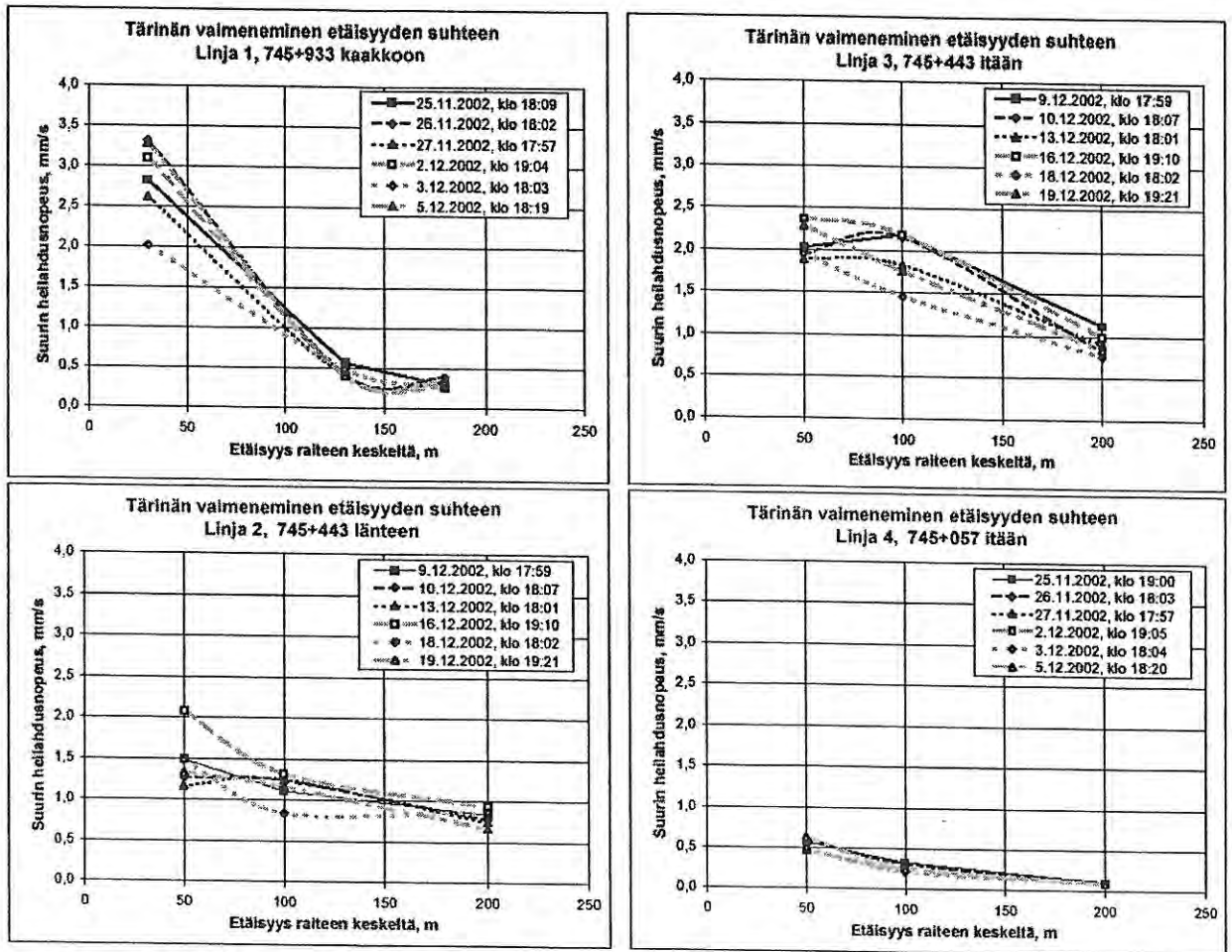
Yhteenvedo suurimmista mitatuista tärinäarvoista on esitetty taulukossa 2. Kuvassa 1 on esitetty mitattujen tärinöiden vaimeneminen etäisyyden suhteen. Maaperätietojen perusteella arvioitu pinta-aallon etenemisnopeus ja siitä laskettu aallonpituus on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 2.** Suurimmat maaperästä mitatut tärinäarvot ( $v_{max}$ ) ja dominoivat taajuudet ( $f_{dom}$ ) eri etäisyyksillä mittauslinjoilla.

Mittauslinja	Suurimman tärinän aiheuttaneen junan tuloaika	Mittaustulokset			
		Suure	Lähinnä rataa oleva anturi	Keskimmäinen anturi	Kauimmainen anturi
Linja 1 745+933 kaakkoon	26.11.2002 klo 18:02 nopeus 63,4 km/h	etäisyys	30 m	130 m	180 m
		$v_{max}$ , mm/s	3,32	0,43	0,40
		$f_{dom}$ , Hz	6,7	7,3	7,2
Linja 2 745+443 länteen	16.12.2002 klo 19:10 nopeus 62,4 km/h	etäisyys	50 m	100 m	200 m
		$v_{max}$ , mm/s	2,08	1,32	0,94
		$f_{dom}$ , Hz	7,3	6,3	6,6
Linja 3 745+443 itään	16.12.2002 klo 19:10 nopeus 62,4 km/h	etäisyys	50 m	100 m	200 m
		$v_{max}$ , mm/s	2,37	2,19	1,00
		$f_{dom}$ , Hz	6,2	6,6	6,1
Linja 4 745+057 itään	26.11.2002 klo 18:03 nopeus 63,4 km/h	etäisyys	50 m	100 m	200 m
		$v_{max}$ , mm/s	0,60	0,32	0,11
		$f_{dom}$ , Hz	9,3	10,0	12,0

**Taulukko 3.** Tärinän likimääräiset etenemisnopeudet ja aallonpituudet.

Mittauslinja	Arvioitu pinta-aallon nopeus, m/s	Pinta-aallon aallonpituus, m
Linja 1	150	20
Linja 2	80	12
Linja 3	80	12
Linja 4	300	25



Kuva 1. Tärinän vaimeneminen etäisyyden suhteen linjoilla 1...4, kaikki mitatut junat.

## 4.2 Tulosten arviointia

Tuloksista voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

- Pehmeiköillä tärinän taajuus on suhteellisen vakio, noin 6,5 Hz.
- Linjalla 1 tärinä on lähimmässä, pehmeiköllä olevassa anturissa korkea, mutta vaimenee nopeasti kauimmaisissa pehmeikön ulkopuolella olevissa antureissa.
- Pennasenniittyjen alueella olevan ei-pehmeikköalueen tärinätaso on suhteellisen alhainen.
- Paksulla pehmeiköllä olevilla linjoilla 2 ja 3 vaimeneminen on varsin hidasta ja tärinä suhteellisen voimakasta.
- Eteläisimmän linjan 4 alueella tärinä on huomattavasti alhaisempaa ja taajuus korkeampi kuin muualla. Tämä viittaa selvään maaperän ominaisuuksien muuttumiseen muuhun alueeseen verrattuna. Tällä alueella ei ole ollut käytössä pohjatutkimuksia.

## 5 TÄRINÄALUERAJAUKSET

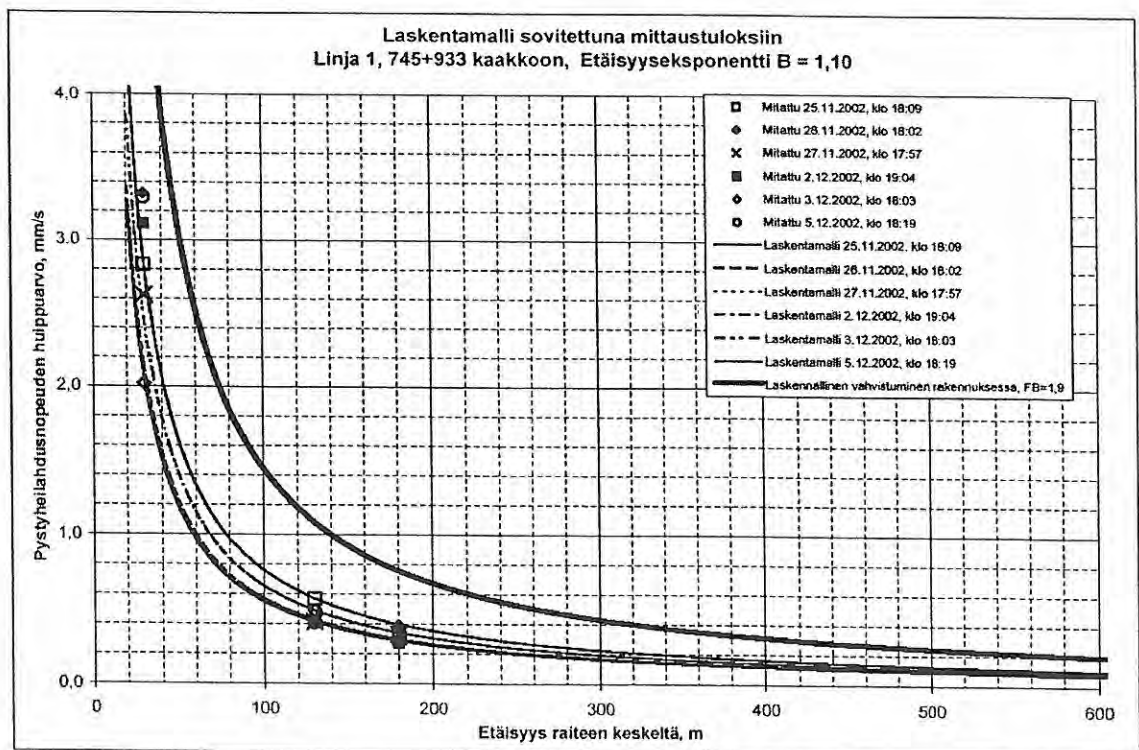
### 5.1 Ennustekäyrän laskenta

Mittaustuloksiin sovitetut laskentamallin mukaiset tärinän vaimenemista kuvaavat käyrät kullekin junalle on esitetty yhdessä mitattujen heilahdusnopeuksien kanssa liitteillä 7 – 10.

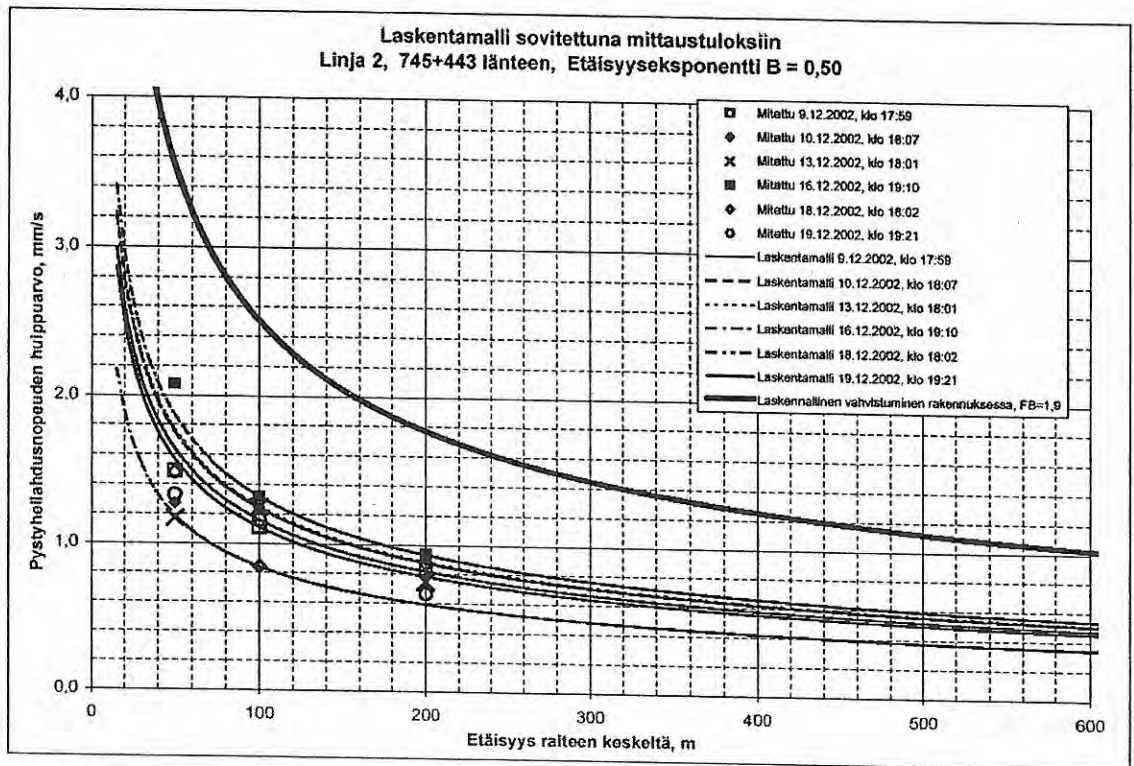
Ennustekäyrä, eli rakennuksissa vaikuttavan tärinän heilahdusnopeuden ja rakennuksen etäisyyden vuorosuhde, on saatu suurimman tärinän aiheuttaneen junan perusteella käyttäen kaksikerroksisten rakennusten tyypillistä vahvistuskerrointa  $F_B = 1,9$ .

Koska mittaukset kattoivat myös raskaimmat rataosalla liikennöivät junat ja koska malmijunien kokonaispainon vaihtelu on vähäistä, on ennustekäyrää laskettu suoraan suurimman tärinän aiheuttaneen junan mittaustulosten perusteella ilman kokonaispainokorjausta.

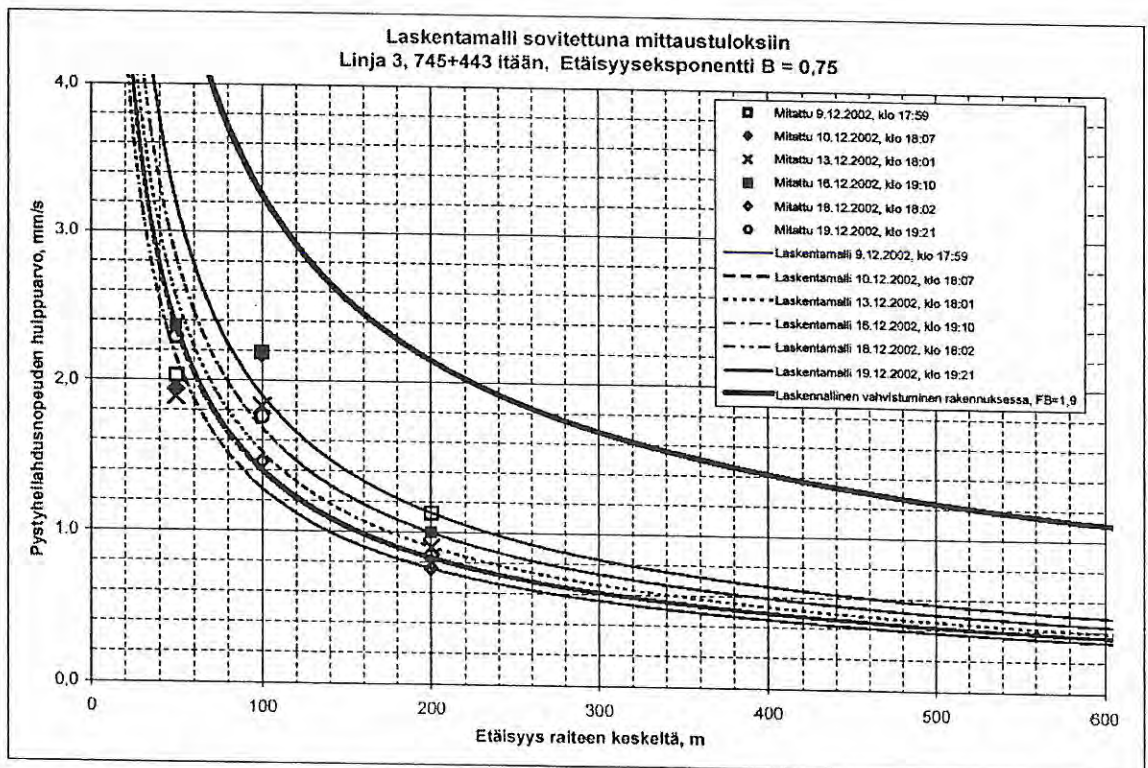
Junien mittaustuloksiin sovitetut laskentamallin mukaiset junakohtaiset tärinän vaimenemista kuvaavat käyrät ja eniten tärinää aiheuttaneen junan perusteella määritetty ennustekäyrä rakennuksille on esitetty mittaustuloina kuvissa 2...5.



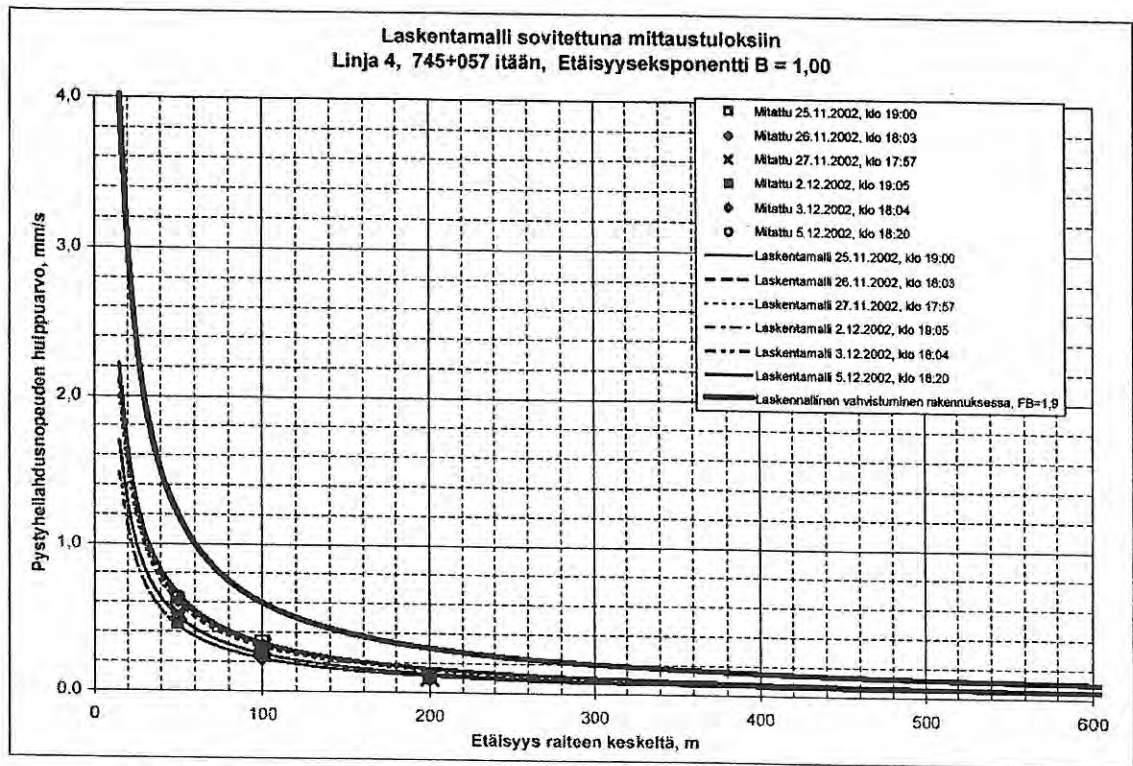
Kuva 2. Tärinän laskentamallin sovitus ja ennustekäyrä rakennuksille. Linja 1.



Kuva 3. Tärinän laskentamallin sovitus ja ennustekäyrä rakennuksille. Linja 2.



Kuva 4. Tärinän laskentamallin sovitus ja ennustekäyrä rakennuksille. Linja 3.



Kuva 5. Tärinän laskentamallin sovitus ja ennustekäyrä rakennuksille. Linja 4.

Linjoilla 2 ja 3, jotka sijaitsevat pehmeiköllä, tärinän vaimenemista kuvaava etäisyysseksponentti B on välillä 0,50...0,75, joka on tyypillinen pehmeälle savikolle. Linjojen 1 ja 4 etäisyysseksponentti B = 1,0...1,1 puolestaan vastaa tiiviin siltin tai hienon hiekan tyypillisiä arvoja.

## 5.2 Tärinäalueet

Ennustekäyrien ja maaperäolosuhteiden mukaan tulkittu rajaus V-, H- ja E-alueille on esitetty liitteenä olevalla tärinäaluekartalla.

V-alue tarkoittaa aluetta, jossa tärinän heilahdusnopeuden huippuarvo voi rakennuksissa ylittää 3 mm/s. Tällä alueella rakennusten vaurioriskit tulee ottaa huomioon.

H-alueella tärinän heilahdusnopeuden huippuarvo on välillä 1...3 mm/s. Tällä alueella rakenteiden vauriot ovat hyvin epätodennäköisiä, mutta tärinä on yleisesti ihmisten havaittavissa ja voi aiheuttaa häiriötä. Tällä alueella tärinä voi myös aiheuttaa sekundäärirakenteiden, kuten kalusteiden ja ikkunoiden sekä irtaimiston värähtelyjä, joka aistitaan ”helinä” tms.

E-alueella tärinä on niin vaimeaa, että sitä ei yleisesti pidetä häiritsevänä, eivätkä useimmat ihmiset havaitse tärinää lainkaan.

Tärinäalueiden laajuus vaihtelee selvitysalueella voimakkaasti. Alueen keskiosalla on pehmeikköalue, jossa tärinä vaimenee hyvin hitaasti. H-alueen raja, jossa rakennuksissa odotettavissa oleva tärinän heilahdusnopeus voi ylittää 1 mm/s, ulottuu tällä alueella molemmin puolin rataa jopa yli 500 metrin päähän, selvitysalueen ulkopuolelle saakka. V-alueen rajakin ulottuu tällä alueella 80...100 metrin päähän radasta.

Pennasenniittyjen kohdalla oleva ei-pehmeikköalue ja kaakkoisosassa oleva teollisuusrakennusten alue ovat tärinäriskien suhteen huomattavasti parempia kuin muut alueet. H-alueen raja on näillä alueilla 80...120 metrin päässä radasta ja V-alue on kapea, noin 40 metriä radasta.

Selvitysalueen koillisosassa (Pennasenniittyjen pohjoispuolella) tärinäalue laajenee pohjasuhteista johtuen. H-alue ulottuu tällä alueella arviolta 200...280 metrin päähän radasta.

## 6 TÄRINÄRISKIEN HUOMIOON OTTAMINEN

### 6.1 Vaurioriskit

Asemakaavan mukaisista tonteista viisi (5) sijoittuu siten, että niiden rakennukset ovat selvityksen perusteella osittain V-alueella. Nämä tontit ovat alueen keskiosan pehmeikköalueella. Rakennusten sijoittaminen näille alueille on mahdollista ottamalla tärinätekijät huomioon rakennusten suunnittelussa. Taulukossa 3 on esitetty rakennusten vauriorajat.

**Taulukko 3.** *Tärinän heilahdusnopeuden raja-arvot rakennusten vaurioitumisalttiuden arvioimisessa. Lähde: VTT:n ohje "Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin - vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen".*

Tärinäalttiusluokka	Dominoiva taajuus, Hz	Heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo $\hat{v}_{res}$ , mm/s
I. Normaalkuntoiset hyvin jäykistetyt rakennukset. Teräs- ja teräsbetoniset teollisuusrakennukset, muut teräsrakenteet, sillat ja muut niihin rinnastettavat rakenteet.	< 10	8
	10...30	10
	> 30	12
II. Perinteisesti rakennetut betoni-, tiili- tai puurakenteiset asuin- ja liikerakennukset tai muut niihin rinnastettavat rakennukset ja rakenteet. Luokan I rakennukset, joissa on muurattuja kellariseiniä tai tiiliverhoilu.	< 10	4
	10...30	5
	> 30	6
III. Erityisen herkäät rakennukset tai rakenteet ja kulttuurihistoriallisesti tai yhteiskunnallisesti merkittävät rakennukset.	< 10	2
	10...30	3
	> 30	4

Kun rakennukset suunnitellaan rakenteiltaan taulukon 3 luokan I mukaisiksi, ei vaurioriskejä esiinny. Toimisto- ja liikerakennukset ovat kuitenkin usein luettavissa luokkaa II, jolloin niiden tärinäriskit on syytä ottaa huomioon.

V-alueen raja on määritetty käyttäen vahvistumiskerrointa 1,9. Mikäli rakennusten ominaistajuus osuu maaperän värähtelytaajuudelle, voi vahvistuminen olla suurempaakin. Jos taas rakennetaan hyvin jäykkiä monoliittisia rakennuksia, joiden ominaistajuus ei ole kriittisellä alueella, voi vahvistuminen olla selvästi vähäisempää, jolloin tärinätasot rakennuksissa jäävät lähelle maaperän tärinätasoa.

Kaikilla asemakaavan mukaisilla rakennuksilla maaperän tärinätaso näyttää jäävät pienemmäksi kuin 3 mm/s, eli jos päästään rakenteisiin, joissa vahvistuminen on vähäistä, eivät vaurioriskit nouse merkittäviksi.

V-alueilla suositellaan tärinäriskit otettavaksi huomioon seuraavasti:

- Rakennukset perustetaan paaluille (tämä on todennäköisesti välttämätöntä muutoinkin pehmeikköalueella). Paalutus vähentää siirtymiä ja vaurioriskejä, mutta ei estä tärinän välittymistä rakenteisiin.
- Käytetään hyvin jäykistettyjä teräs tai betonirakenteita, joiden vaakasuuntainen ominaistajuus suunnitellaan alueen 5...9 Hz ulkopuolelle. Myös välipohjien pystysuuntaisen ominaistajuuden tulisi olla tämän alueen ulkopuolella, jotta vältetään välipohjanvaraisten väliseinärakenteiden vaurioriski sekä vähennetään häiritsevyyttä.
- Vältetään vaurioalttiita rakenteita, kuten muuratut rakenteet.

Rakenteissa, joiden sivumitta on pienempi kuin tärinän aallonpituuden puolikas, ovat värähtelyn aiheuttamat rasitukset pieniä. Sivumitaltaan suuremmat rakennukset eivät värähtele samassa vaiheessa, jolloin rasitukset ovat suuremmat.

Rakennusten suunnittelussa tulisi käyttää rakennesuunnittelijaa, jolla on kokemusta rakenteiden dynaamisesta mitoittamisesta. Tärinään liittyvät lähtötiedot (heilahdusnopeus, taajuus, aallonpituus) voidaan todennäköisesti ottaa tämän tärinäriskiraportin perusteella, mutta tonttikohtaisen tärinämittauksen tarve tulisi tarkistaa suunnittelun aikana (rakennesuunnittelija / geotekninen suunnittelija).

Asemakaavan mukaisilla rakennuksilla ei nähdäksemme esiinny V-alueen ulkopuolella rakenteiden vaurioriskejä.

## 6.2 Häiriöriskit

Tärinä nousee havaittavalle ja mahdollisesti joitakin ihmisiä häiritsevälle tasolle suhteellisen laajalla alueella (V- ja H-alueet). Yli puolet rakennettavista tonteista sijoittuu näille alueille. Kaavan mukaiset asuintontit sijoittuvat myös suurelta osin H-alueelle.

Tärinän vahvistumista rakennuksissa voidaan rajoittaa käyttämällä kohdassa 6.1 esitetyjä rakenteellisia keinoja (paalutus, ominaistajuusmitoitus, rakenteiden jäykkyys).

Heilahdusnopeuden arvot 1...3 mm/s rakennuksissa aiheuttavat asuinrakennuksissa häiritsevänä pidettävää tärinää. Häiriöt keskittyvät kokemusperäisesti yöaikaan, jolloin tärinä voi aiheuttaa heräämistä. Toimitiloissa työntekijöiden häiriintyminen ei ole yhtä yleistä. Häiriintymistä rajoittaa tällä hetkellä vielä se, että raskaimmat junat ohittavat alueen normaalin työajan ulkopuolella.

Mielestämme H-alueelle voidaan sijoittaa asemakaavan mukaisia toimisto- ja liikerakennuksia ilman, että tärinä aiheuttaa kohtuutonta häiriötä työnteolle. Esitämme kuitenkin rakennusten suunnittelussa käytettäväksi vastaavantyyppistä dynaamista mitoittamista kuin kohdassa 6.1, jolloin myös häiritsevyystekijää saadaan rajoitettua.

Rautatieliikenteen aiheuttamasta tärinähaitasta on tiedotettava tonttien ostajia ennen kaupan tekoa, jotta tärinähavainnot eivät tule yllätyksenä ja vältetään mahdolliset tonttikaupan salaiseen virheeseen perustuvat vaateet.

### 6.3 Tärinäherkät tilat

Maaperän tärinä on todennäköisesti koko selvitysalueella sellaisella tasolla, että tärinäherkät tilat joudutaan vaimentamaan. Tärinäriskeihin vaikuttavat myös ympäröivä tiestö, jonka aiheuttamat värähtelyenergiat ovat kuitenkin oleellisesti pienemmät kuin radasta aiheutuvat.

Tärinäherkkien tilojen sijoittamiselle on osoitettavissa kaksi aluetta, jossa maaperästä välittyvä tärinä on alhaisempaa kuin muualla. Nämä alueet ovat:

- Pennasenniittyjen ei-pehmeikköalue radan itäpuolella
- teollisuusrakennusten alue selvitysalueen kaakkoisosassa

Eo. alueilla maaperän värähtelyamplitudi ja -energia ovat pienempiä kuin muualla. Herkät tilat on näilläkin alueilla suositeltavaa sijoittaa mahdollisimman kauas radasta, ottaen luonnollisesti huomioon myös muut tärinälähteet (tiestö).

Tärinän vaimentaminen on sitä hankalampaa, mitä alhaisempi maaperästä välittyvä värähtelytaajuus on. Pehmeiköillä mitattu maaperän värähtelytaajuus on noin 6...7 Hz. Pehmeikköjen ulkopuolella taajuus on korkeampi, luokkaa 10 Hz. Myös eo. syystä tärinäherkkien tilojen sijoittaminen pehmeikköjen ulkopuolelle on suositeltavaa.

Tärinäherkkien tilojen osalta esitetään maaperästä välittyvä tärinä selvitettäväksi kohdemittauksella, jonka tuloksia käytetään rakenteellisen vaimennuksen suunnittelun lähtötietoina.



## 7 YHTEENVETO

Oulun Portin asemakaava-alueella rautatieliikenne aiheuttaa tärinää, joka on selvästi havaittavissa suurella osalla aluetta. Tärinä johtuu rataosalla liikennöivistä venäläisistä malmijunista, jotka ovat raskaampia kuin muut Suomen rataverkolla liikennöivät tavara- tai henkilöjunat. Tärinän suuruuteen vaikuttaa olennaisesti myös alueen maaperä. Suuri osa kaava-alueesta on pehmeiköllä, jossa tärinän vaimeneminen on hidasta.

Osa lähellä rataa olevista tonteista sijoittuu alueelle, jossa tärinän vaurioriski on otettava huomioon. Oikeilla rakennusratkaisuilla voidaan tärinän vahvistumista rakennuksissa vähentää ja parantaa kestävyyttä tärinärasituksen suhteen.

Huomattava osa rakennuksista sijoittuu alueelle, jossa tärinä rakennuksissa nousee havaittavan suuruiseksi ja voi aiheuttaa joillekin ihmisille häiriötä. Häiriötä voidaan myöskin vähentää rakennusratkaisuilla, mutta tärinän välittymistä tavanomaisiin rakennuksiin on vaikea kokonaan estää.

Vaurioriski- ja häiriöalueilla rakennusten suunnittelussa ehdotetaan käytettäväksi rakennesuunnittelijaa, jolla on kokemusta rakenteiden dynaamisesta mitoittamisesta. Tärinähäiriöiden minimointi edellyttää mm. rakennusten ominaistajuustarkastelua.

Mahdollisesti rakennettavat tärinäherkät tilat joudutaan todennäköisesti vaimentamaan erikoisratkaisuin. Näiden mitoittamiseksi tarvitaan kohdekohtaisia tärinämittauksia.

**GEOBOTNIA OY**



Rauli Luoma, DI



Olli Nuutilainen, DI

### Liitteet:

- |   |                   |
|---|-------------------|
| Tärinän mittaustulokset linjoilla 1...4 junatietoineen        | 2 s.              |
| Tärinäaluekartta  | piir. n:o 9447-1  |
| Maaperäkartta (rakennettavuusselvityksen liite vuodelta 2000) | piir. n:o 8842-2. |



### Linja 3

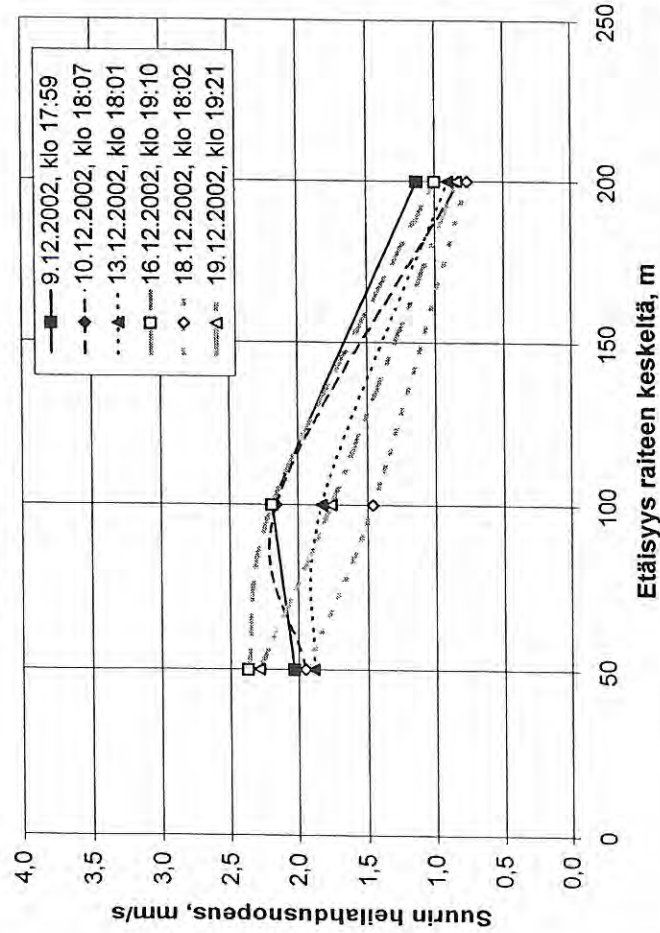
Pvm	Klo	Raide	Junatyyppi	Juna n:o	Akseli-ikm	Junan paino (tn)	Akselipaino (tn)	Junan pituus (m)	Ohitusaika(s)	Nopeus(km/h)	J-n:o	Etäisyys, m	50 mm/s	100 mm/s	200 mm/s	50 Hz	100 Hz	200 Hz
9.12.2002	17:59	Itä	Ta/3/59	5053	236	5049	21,4	875	51,1	61,6	1	2,03	2,19	1,13	6,0	6,2	6,1	
10.12.2002	18:07	Itä	Ta/3/59	5053	236	5078	21,5	875	52,9	59,5	2	1,95	2,16	0,83	6,2	6,1	6,0	
13.12.2002	18:01	Itä	Ta/3/59	5053	236	5047	21,4	875	51,2	61,5	3	1,89	1,83	0,91	6,3	6,1	6,3	
16.12.2002	19:10	Itä	Ta/3/59	5053	236	5066	21,5	875	50,5	62,4	4	2,37	2,19	1,00	6,2	6,6	6,1	
18.12.2002	18:02	Itä	Ta/3/59	5053	236	5066	21,5	875	53,5	58,9	5	1,95	1,46	0,76	6,1	5,8	6,2	
19.12.2002	19:21	Itä	Ta/3/59	5053	236	5053	21,4	875	57,0	55,3	6	2,29	1,76	0,84	5,9	5,9	6,0	

### Linja 4

Pvm	Klo	Raide	Junatyyppi	Juna n:o	Akseli-ikm	Junan paino (tn)	Akselipaino (tn)	Junan pituus (m)	Ohitusaika(s)	Nopeus(km/h)	J-n:o	Etäisyys, m	50 mm/s	100 mm/s	200 mm/s	50 Hz	100 Hz	200 Hz
25.11.2002	0,79	17	Itä	5053	236	5105	21,6	875	48,1	65,5	1	0,57	0,33	0,11	7,5	9,0	11,0	
26.11.2002	18:03	Itä	Ta/3/59	5053	236	5114	21,7	875	49,7	63,4	2	0,60	0,32	0,11	9,3	10,0	12,0	
27.11.2002	17:57	Itä	Ta/3/59	5053	236	5088	21,6	875	51,8	60,8	3							
2.12.2002	19:05	Itä	Ta/3/59	5053	236	5104	21,6	875	49,0	64,3	4	0,46	0,25	0,10	7,5	9,5	13,0	
3.12.2002	18:04	Itä	Ta/3/58	5053	232	5018	21,6	861	50,6	61,3	5	0,49	0,22	0,10	11,0	13,0	12,0	
5.12.2002	18:20	Itä	Ta/3/59	5053	236	5104	21,6	875	49,0	64,3	6	0,64	0,25	0,10	9,8	11,0	11,0	

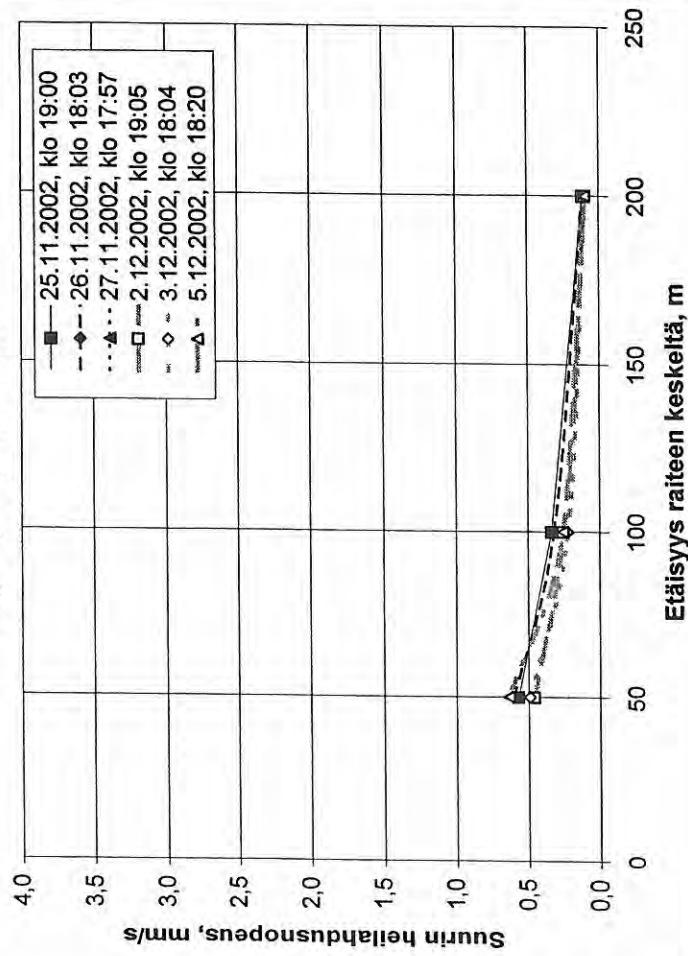
### Tärinän vaimeneminen etäisyyden suhteen

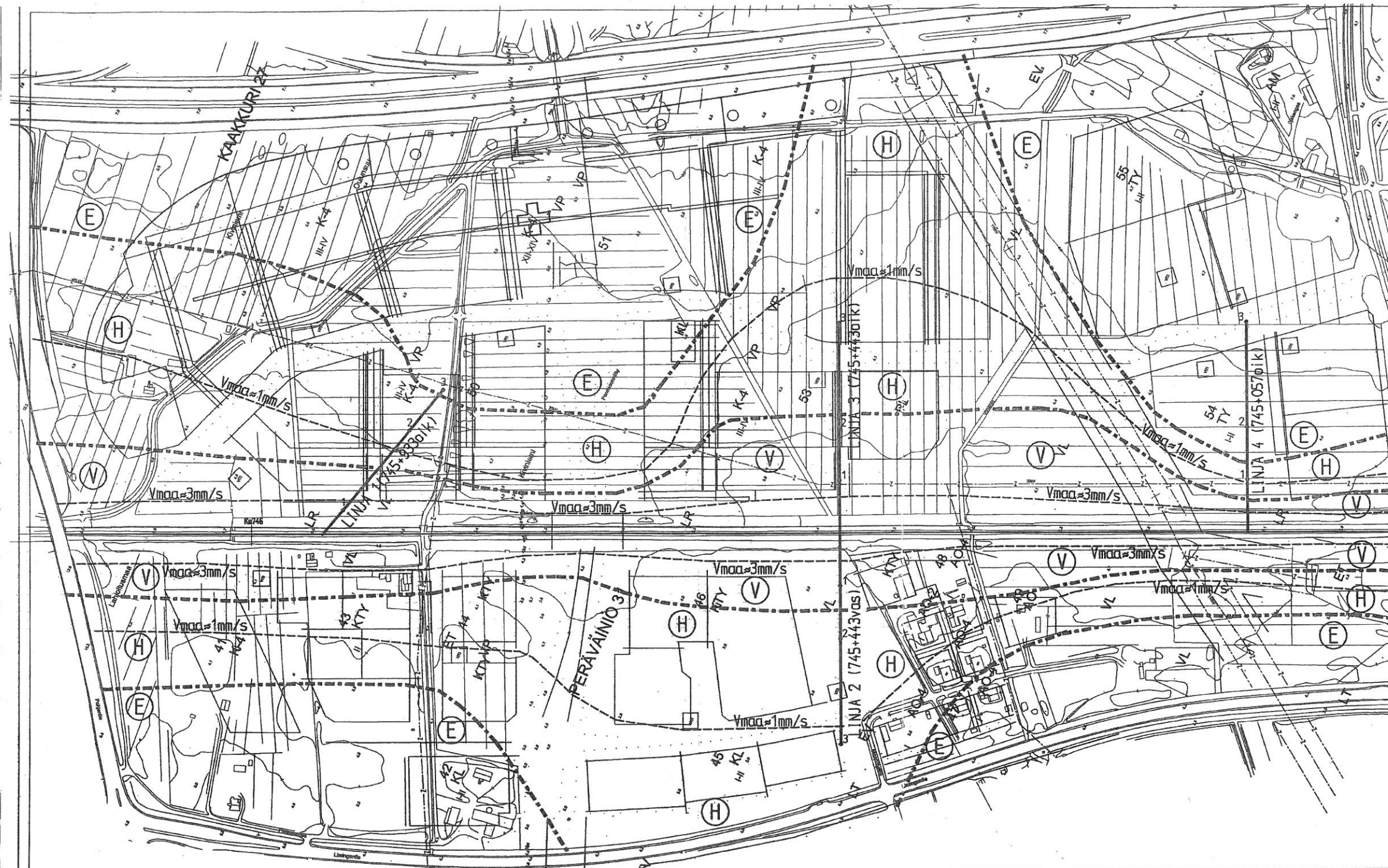
#### Linja 3, 745+443 itään



### Tärinän vaimeneminen etäisyyden suhteen

#### Linja 4, 745+057 itään





**TÄRINÄALUEET**

- (V)** Rakennuksissa odotettavissa yli 3 mm/s heilahdusnopeus (huippuarvo) raskaiden junien aikana
- (H)** Rakennuksissa odotettavissa yli 1 mm/s heilahdusnopeus (huippuarvo) raskaiden junien aikana
- (E)** Rakennusten heilahdusnopeudet pysyvät todennäköisesti <1mm/s
- Tärinäalueen raja (rakennuksissa odotettavissa oleva tärinä, vahvistuskerrain  $F_B=1.9$ )
- - - - - Odotettavissa olevan tärinän huippuarvo maaperässä
- 1 Tärinämittaustinja antureiden sijainti

TUOTEKORTTI KAARKURI - PERÄVAINIO KAAYOITUS		VERHOJALAN ASEISTOIMINEN POHJATUTKIMUSPIIRUSTUS 7401	
OULUN KAUPUNKI OULUNPORTTI KAARKURI - PERÄVAINIO OULU		TÄRINÄALUEKARTTA 1:2000	
<b>geobotnia oy</b> Puh. (09) 373 235, Fax (09) 373 598 e-mail: gbo@geobotnia.fi		<b>GEO</b> PIIET. MÄR. OULU	TIO N:O 9447 P.I.R. N:O 1 MUUTOS N:O 29.1.2008 Pauli Vuolava