

Oulun kaupunki
Asemakaavoitus
PL 32
90015 Oulun kaupunki

Työ n:o 10743
15.10.2009



SISÄLLYS

1	TEHTÄVÄ.....	1
2	TÄRINÄMITTAUKSET.....	1
2.1	Tiedot radasta ja rautatieliikenteestä.....	1
2.2	Maaperä.....	1
2.3	Mittaukset.....	1
2.4	Signaalien käsittely.....	3
3	MITTAUSTULOKSET.....	3
4	TÄRINÄN LASKENNALLINEN TARKASTELU.....	4
4.1	Tarkasteluperiaate.....	4
4.2	Tarkastelutulokset.....	4
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	7
5.1	Vaurioriskit.....	7
5.2	Tärinän häiritsevyys.....	7

1 TEHTÄVÄ

Oulun kaupungin asemakaavoituksen toimeksiannosta on Geobotnia Oy tehnyt värinäriskikartoituksen Ritaportin asema-kaavaluonnoksen alueella. Kartoitus liittyy rautatieliikenteen aiheuttaman värinän leviämiseen ympäristöön. Riskikartoitusta varten alueella on tehty värinämittauksia maaperässä. Mittaukset on tehty viikolla 41 / 2009.

2 TÄRINÄMITTAUKSET

2.1 Tiedot radasta ja rautatieliikenteestä

Ritaportin kaava-alueen länsireunaa kulkee pohjoinen päärata. Rata on yksiraiteinen sähköistetty rata, jolla on betonipölkkyt. Ratapenger on maanvarainen. Kaava-alueen lounaiskulmalla rata ylittää sillalla Raitotien. Raitotiestä noin 200 m pohjoiseen on ratapenkereessä isokokoinen laskuojarumpu. Muita epäjatkuvuuskohtia kuten vaihteita tai siltoja ei mittausalueen kohdalla ole.

Radalla liikennöi päivittäin 12...18 henkilöjunaa ja 3...6 tavarajunaa. Henkilöjunien ajonopeus on 100...120 km/h (nopeusrajoitus 120 km/h). Tavarajunien suurin kokonaispaino on 2500 tn ja nopeusrajoitus 80 km/h.

2.2 Maaperä

Asema-kaava-alueella on Ramboll Finland Oy:n rakennettavuusselvityksen perusteella löyhä – keskitiivis hiekasta ja silttisestä hiekasta muodostunut pintakerros, joka on yleensä alle 2,5 m paksu. Tämän alla on keskitiivis – tiivis hiekka, silttinen hiekka tai moreeni. Paikoin esiintyy ohuehkoja turvekerroksia. Kaakkoisosassa esiintyy lisäksi pehmeitä maalajeja.

Ratapenger ja sen itäpuolinen värinämittausalue sijoittuvat alueelle, jossa pehmeikköjä tai merkittäviä turvekerroksia ei ole.

2.3 Mittaukset

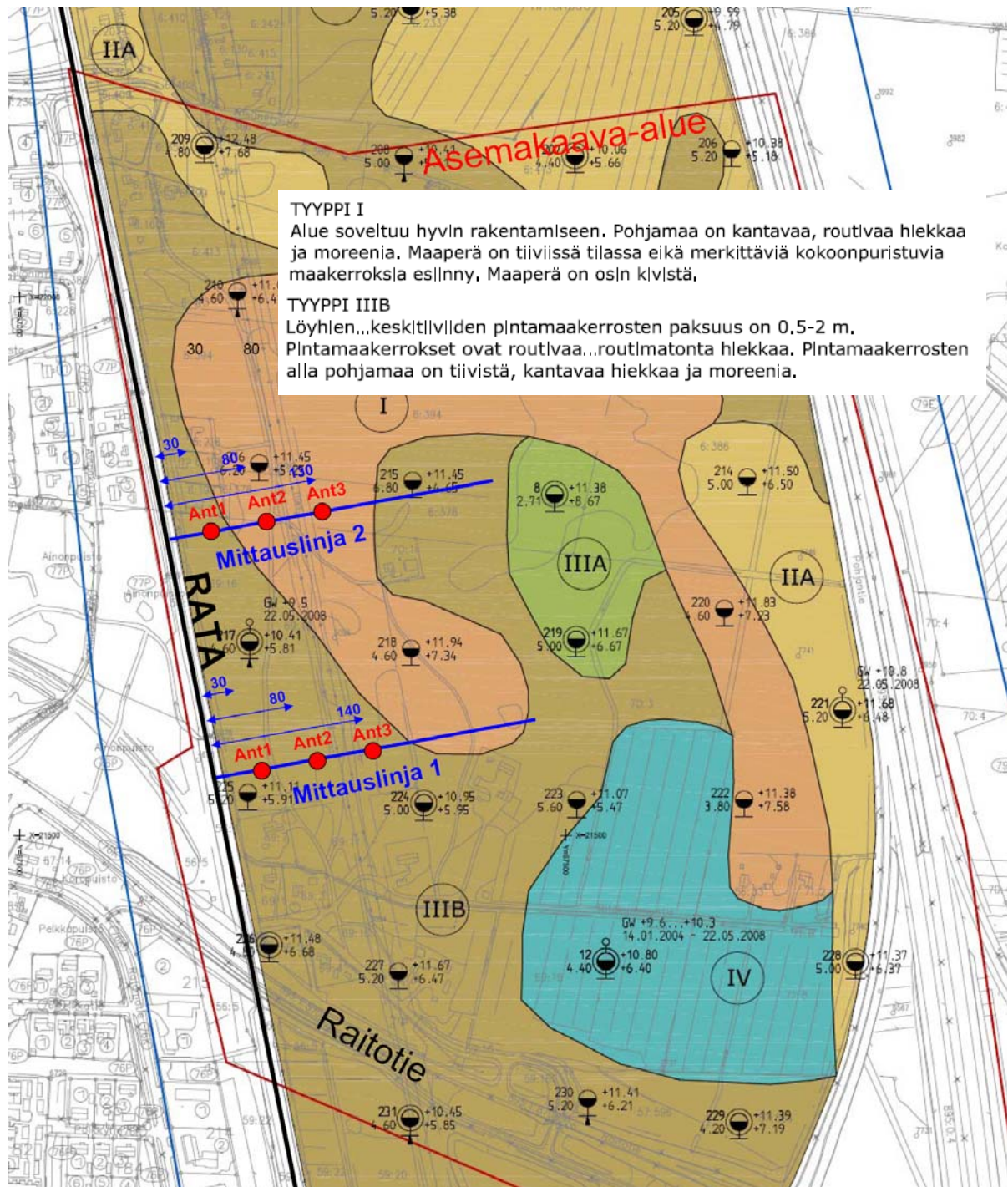
Kaava-alueelle on sijoitettu kaksi rataa nähden poikittaista värinämittauslinjaa, joille kummallekin asennettiin kolme anturia. Mittauslinjat on sijoitettu tulevien rakennusten kohdille. Anturit on kummallakin linjalla sijoitettu 30...140 metrin etäisyyksille radasta.

Mittauslinjat ja antureiden paikat on esitetty kuvassa 1. Mittauslinjat sijaitsevat radan km-paalutukseen nähden likimain seuraavasti:

- mittauslinja 1 km 762+480
- mittauslinja 2 km 762+710

Anturit olivat vertikaalisia nopeusantureita, joiden lineaarinen taajuusalue on 2...200 Hz. Mittalaitteena on käytetty Instantel'in Minimate Plus värinämittareita.

Antureiden kiinnitys maahan ja värinämittausmenettely on toteutettu VTT:n ohjetta ”Rautatieliikenteen värinän vaikutus rakenteisiin - vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen” (VTT 2002) noudattaen.



Kuva 1. Mittausalue, mittauslinjat ja anturien sijainti. Pohjana käytetty otetta Ramboll Finland Oy:n rakennettavuuskartasta. Maalajialueiden kuvaukset rakennettavuuskartan mukaiset.

Tärinämittaukset on tehty miehitettyinä. Kukin mittaus on käynnistetty manuaalisesti junan lähestyessä. Junan nopeus on mitattu sekuntikellolla. Tärinästä on tallennettu koko heilahdusnopeussignaali näyttөөnottajaajuudella 1000 Hz (1000 mittausta/s).

Mittaukset on kohdistettu pääasiassa tavarajuniin, koska niiden kokonaispainot ovat henkilöjunia suurempia. Tavarajunia on mitattu yhteensä 6 kpl, joista yksi oli tyhjiä. Täysien tavarajunien kokonaispainot olivat 1900...2000 tn. Mittausten aikana on mitattu myös 6 kpl henkilöjunia, joiden kokonaispainot olivat 300...800 tn.

2.4 Signaalien käsittely

Mitatut signaalit on talletettu tietokoneelle ja tarkastettu Blastware 8.0 signaalinkäsittelyohjelmalla. Jokaisen junan ja jokaisen anturin mittaustuloksista on poimittu heilahdusnopeuden huippuarvo sekä dominoiva taajuus.

3 MITTAUSTULOKSET

Suorat mittaustulokset junatietoineen on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Junatiedot ja mittaustulokset linjalta 1.

Aika	Junatyyppi	Juna n:o	Junan paino tn	Akseli-paino tn	Junan pituus m	Ajo-nopeus km/h	Heilahdusnopeus, mm/s			Dominoiva taajuus, Hz		
							Etäisyys radasta, m			Etäisyys radasta, m		
							30	80	140	30	80	140
6.10.2009 10:37	Ta 1sr+33	5408	670	5,6	644	76	0,40	0,13	0,18	-	13	-
6.10.2009 12:14	HJ 1+5	P708	331	13,8	151	92	0,40	0,13	0,16	-	12	-
6.10.2009 12:47	HJ 1+4	H405	284	14,2	125	61	0,32	0,08	0,16	-	17	-
7.10.2009 8:05	HJ 1+14	P273	800	13,3	394	95	0,30	0,35	0,08	6	10	12
7.10.2009 9:27	HJ 1sr2+9	IC50	575	14,4	257	87	0,37	0,19	0,08	5	11	11
7.10.2009 11:44	Ta 1sr1+28	5417	1876	17,4	574	76	0,29	0,18	0,08	-	12	11
7.10.2009 14:19	HJ 1sr1+5	P701	333	13,9	151	106	0,21	0,18	0,06	14	13	13
7.10.2009 15:41	Ta 2Dv+30	5415	1927	17,5	589	67	0,22	0,14	0,05	20	14	12
8.10.2009 11:29	Ta 1Dr16+30	5417	2008	17,6	606	65	0,19	0,13	0,14	-	13	-
9.10.2009 11:46	Ta 1Dr16+29	5417	1990	17,8	593	71	0,22	0,13	0,10	-	13	-
9.10.2009 16:07	Ta 2Dv12+30	5415	1915	17,4	617	77	0,18	0,10	0,08	21	13	10

Taulukko 2. Junatiedot ja mittaustulokset linjalta 2.

Aika	Junatyyppi	Juna n:o	Junan paino tn	Akseli-paino tn	Junan pituus m	Ajo-nopeus km/h	Heilahdusnopeus, mm/s			Dominoiva taajuus, Hz		
							Etäisyys radasta, m			Etäisyys radasta, m		
							30	80	130	30	80	130
6.10.2009 10:37	Ta 1sr+33	5408	670	5,6	644	76	0,16	0,08	0,06	11	10	11
6.10.2009 12:14	HJ 1+5	P708	331	13,8	151	92	0,14	0,04	0,06	-	-	-
6.10.2009 12:47	HJ 1+4	H405	284	14,2	125	61	0,11	0,06	0,05	-	-	-
7.10.2009 8:05	HJ 1+14	P273	800	13,3	394	95	0,21	0,10	0,06	14	12	12
7.10.2009 9:27	HJ 1sr2+9	IC50	575	14,4	257	87	0,21	0,08	0,06	-	-	13
7.10.2009 11:44	Ta 1sr1+28	5417	1876	17,4	574	76	0,21	0,08	0,06	22	12	22
7.10.2009 14:19	HJ 1sr1+5	P701	333	13,9	151	106	0,21	0,06	0,06	14	14	14
7.10.2009 15:11	HJ 1sr1+5	P710	309	12,9	151	99	0,19	0,10	0,08	-	12	12
7.10.2009 15:41	Ta 2Dv+30	5415	1927	17,5	589	67	0,16	0,06	0,06	-	-	-
8.10.2009 11:29	Ta 1Dr16+30	5417	2008	17,6	606	65	0,18	0,08	0,06	28	-	-
9.10.2009 11:46	Ta 1Dr16+29	5417	1990	17,8	593	71	0,16	0,06	0,06	22	22	-
9.10.2009 16:07	Ta 2Dv12+30	5415	1915	17,4	617	77	0,16	0,06	0,06	-	11	10

Yleisesti ottaen tärinän heilahdusnopeudet ovat suhteellisen alhaisella tasolla. Vastavia mittaustuloksia vastaavilta etäisyyksiltä radasta saadaan tyypillisesti keskitiiviistä hiekoista tai löyhistä moreenikerroksista. Mittauslinjalla 1 tärinä oli suurempaa, joka sopii yhteen maaperätietojen kanssa.

Dominoiva taajuus oli mittauslinjoilla tyypillisesti 11...14 Hz, joka tyypillinen kitkamaakerroksille. Selvää dominoivaa taajuutta ei kaikissa mittauksissa pystytty löytämään, osin hyvin alhaisen värinätason vuoksi. Huomattakoon, että pehmeikköalueilla taajuus on tyypillisesti selvästi alempi, luokkaa 4...7 Hz.

4 TÄRINÄN LASKENNALLINEN TARKASTELU

4.1 Tarkasteluperiaate

Mittausten arviointiin on sovellettu VTT 2002 ohjeen mukaista värinän laskentamallia. Sovittamisessa on haettu maaperälle sellainen värinän vaimenemista kuvaava etäisyyskseenponentti B, jolla lasketut värinäarvot sopivat mittauksiluoksiin parhaiten ottaen huomioon etäisyyden vaihtelu ja kaikki mitatut junat.

Laskentamallissa värinä vaimenee etäisyyden suhteen eksponenttifunktiona, jossa eksponentti B kuvaa maaperän kykyä vaimentaa värinää. Hyvin pehmeillä maapohjilla, joissa vaimeneminen on hidasta, on eksponentti alhainen, välillä 0,3...0,6. Sitkeillä silttimailla ja löyhillä hiekkamailla eksponentti vaihtelee laajalla alueella (0,5...1,5) ja tiivillä kitkamailla se on tyypillisesti >1,5.

Laskentamallissa on useita muita värinän suuruuteen vaikuttavia parametreja, kuten junan paino, junan nopeus ja kiskojen kunto. Sovittamalla kuhunkin junan mitattuun huippuarvoon oma laskentakäyränsä, saadaan em. muiden parametrien vaihtelu huomioon otetuksi mittauksituloksen kautta. Sovituksessa haetaan laskentamallille sellainen, kaikille junille yhteinen etäisyyskseenponentti B (maaperävakio), jolla laskentakäyräen muodostama käyräparvi saadaan kulkemaan parhaiten eri etäisyyksiltä olevien mitauksitulosten kautta.

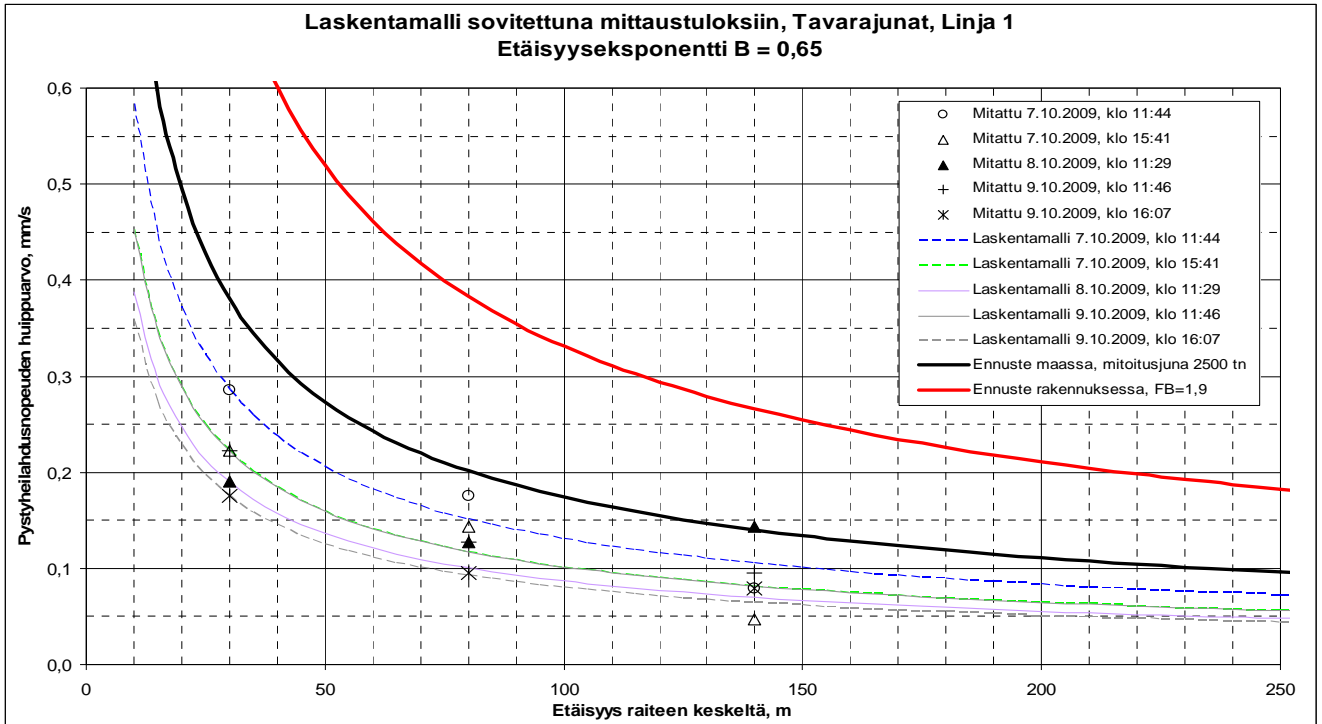
Kun parhaiten sopiva etäisyyskseenponentti on löydetty, valitaan määräävä juna, jonka mukaista laskentakäyrää korotetaan, mikäli rataosalla saattaa liikennöidä mitattuihin juniin joko raskaampia tai suuremmalla nopeudella liikennöiviä junia. Näin saatu laskentamallitulos edustaa siis suurinta maaperässä vallitsevaa värinän heilahdusnopeuden huippuarvoa (ennuste maaperän maksimitärinäarvoksi).

Tämän jälkeen arvioidaan rakennuksissa vallitsevaa värinää kertomalla em. maaperän ennustetärinä tarkasteltavan rakennuksen vahvistumiskertoimella. Yksikerroksisilla kevytrakenteisilla rakennuksilla vahvistumiskerros on tyypillisesti $k_B = 1,3$. Kaksikerroksiset puurunkoiset rakennukset ovat osoittautuneet herkimmiksi värinän vahvistumiselle. Niissä vahvistumiskertoimena on usein käytetty $k_B = 1,9$ (joskus mitattu jopa >2,5). Betonirunkoisissa kerrostaloissa puolestaan vahvistumiskerros saattaa olla pienempi kuin 1, eli kerrostalo usein vaimentaa värinää.

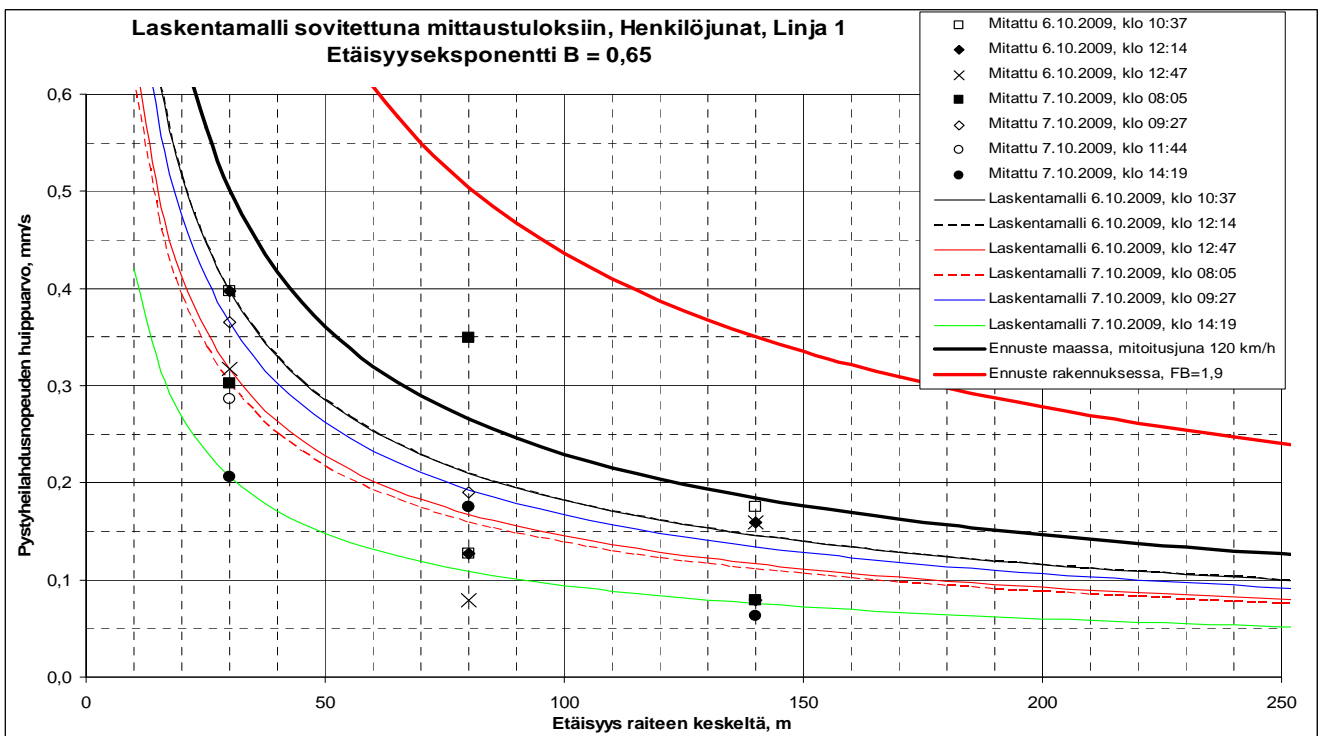
Tässä tapauksessa Ritaportin rakennukset ovat liikerakennuksia, joissa saattaa osin olla kaksi kerrosta. Tyypillisessä myymälähallirakenteessa on suhteellisen vähän vaimennusta pitkien jänneväliden ja vähäisten jäykistävien seinien takia. Tästä syystä liikerakennusten vahvistuskertoimena on käytetty $k_B = 1,9$.

4.2 Tarkastelutulokset

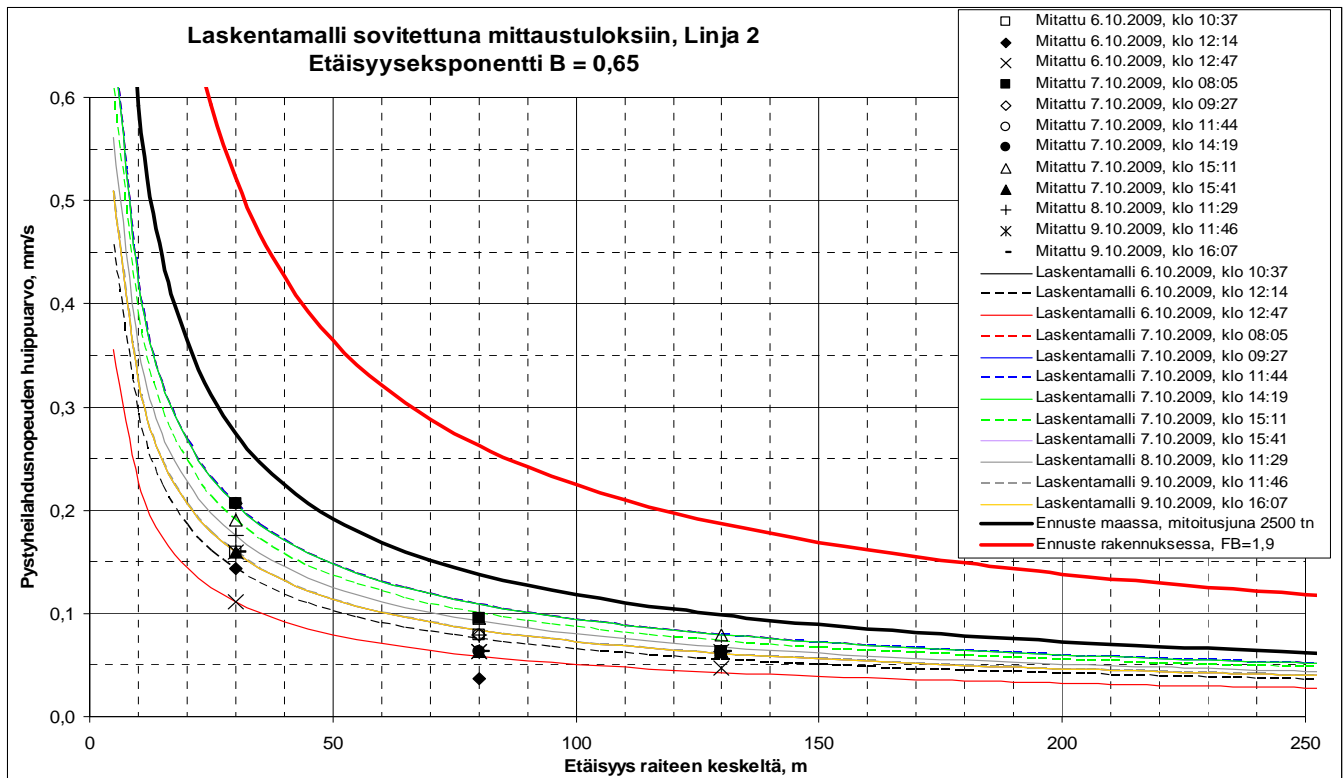
Mittauksitulokset ja niihin sovitettut laskentakäyräparvet sekä mitoittavan junan ennustetärinä maassa ja rakennuksessa kummallekin mittauslinjalle on esitetty kuvissa 2a, 2b ja 3.



Kuva 2a. Mittauslinja 1 tavarajunat. Värinän laskentamallin sovitus sekä ennustekäyrät maassa ja rakennuksessa mitoituksella (2500 tn). Pistesymboleilla on esitetty mittaustulokset eri antureilta ja junilta. Ohuet viivat ovat laskentamallin vaihtomerkityksellisiä samoille junille. Ennustevärinät mitoitukselle on esitetty paksumilla viivoilla. Rakennukselle käytetty vahvistuskertoimen $k_B = 1,9$.



Kuva 2b. Mittauslinja 1 henkilöjunat. Värinän laskentamallin sovitus sekä ennustekäyrät maassa ja rakennuksessa mitoituksella (120 km/h). Mitoituksella nopeuden aiheuttama vahvistuminen laskettu nopeuseksponentin $A = 0,9$ avulla (vrt. VTT 2002). Rakennukselle käytetty vahvistuskertoimen $k_B = 1,9$.



Kuva 3. Mittauslinja 2 kaikki junat. Tärinän laskentamallin sovitus sekä ennustekäyrät maassa ja rakennuksessa mitoitusjunalla (2500 tn). Rakennukselle käytetty vahvistuskertoimen $k_B = 1,9$.

Mittauslinjalla 1 havaitaan, että henkilöjunat aiheuttavat suuremman tärinän kuin tavarajunat. Ainakin osittain tämä johtunee suuremmasta ajonopeudesta. Tästä syystä kuvissa 2a ja 2b on esitetty tulokset erikseen tavarajunille ja henkilöjunille. Tavarajunien ennustekäyrät on määritetty painon perusteella, olettaen junien maksimipainoksi 2500 tn. Koska henkilöjunilla ajonopeus näyttää korreloivan painoa paremmin tärinän suuruuden kanssa, on ennustekäyrät on määritetty VTT 2002 ohjeen mukaisen nopeuskerroimen avulla. Nopeuseksponenttina on käytetty $A = 0,9$ ja junan maksiminopeutena 120 km/h.

Mittauslinjalla 2 ei havaittu vastaavaa, tavanomaisesta poikkeavaa eroa henkilö- ja tavarajunien välillä. Suurimmat tärinät aiheuttivat tavarajunat ja ennustekäyrät onkin määritetty maksimipainon 2500 tn mukaan.

Molemmilla mittauslinjoilla mittaustuloksiin parhaiten sopivat etäisyys eksponentit vaihtelivat välillä $B = 0,6 \dots 0,7$. Ennustekäyrät laadittiin etäisyys eksponentin $B = 0,65$ mukaan. Tämän suuruinen etäisyys eksponentti on tyypillinen sitkeille silteille tai hiekkaisille silteille. Tärinän vaimeneminen ei siis mittausten mukaan ole niin nopeaa kuin maaperätietojen perusteella voisi arvioida. Mittaustulokset ovat kuitenkin kauttaaltaan niin alhaisella tasolla, että eo. arvio on osin epävarma.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Vaurioriskit

Taulukossa 3 on esitetty yleisesti Suomessa käytettävät rakennusten vauriorajat.

Taulukko 3. Tärinän heilahdusnopeuden raja-arvot rakennusten vaurioitumisalttiuden arvioimisessa. Lähde: VTT 2002.

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.	< 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

Kaavaillut rakennukset sijoittuvat maankäyttöluonnoksissa lähimmillään noin 120 m päähän radasta. Rakennuksissa vallitseva ennustetärinä on tällä etäisyydellä suurimmillaan noin 0,4 mm/s (huippuarvo). Taulukon 3 mukaan liikerakennukseen saattaa syntyä vaurioita, mikäli heilahdusnopeus ylittää arvon 5 mm/s.

Ennustekäyrien perusteella voidaan todeta, että koko alueella ei esiinny rautatieliikenteen tärinästä johtuvia vaurioriskejä. Tärinätasot sallisivat rakentamisen huomattavasti lähemmäksi rataa, kuin maankäyttöluonnoksissa on esitetty.

5.2 Tärinän häiritsevyys

Tehdyissä mittauksissa on mitattu tärinän huippuarvoa. Ihmisen kokemaa tärinän häiritsevyyttä arvioidaan tunnusluvun $v_{w,95}$ perusteella, joka on sellainen tärinän taajuuspainotettu tehollisarvo, jonka alapuolelle 95 % tärinästä jää.

Karkea suhdeluku huippuarvon v_{max} ja tunnusluvun $v_{w,95}$ -arvon välillä on todetulla taajuusalueella tapahtuvassa harmonisessa värähtelyssä yleensä noin 2,0. Likimäärin mitatuista ja ennustetuista huippuarvoista päästään häiritsevyyden arvioinnissa käytäviin arvoihin jakamalla huippuarvo kahdella.

VTT on laatinut julkaisun ”Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta” (VTT 2004), jossa tärinä on jaettu häiritsevyydeltään eri värähtelyluokkiin. Luokitus perustuu em. $v_{w,95}$ -tunnuslukuun. Luokitus on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta. Lähde: VTT 2004.

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

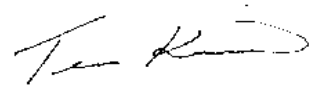
Etäisyydellä 120 m radasta on suurin ennustettu tärinän huippuarvo noin 0,4 mm/s. Vastaava tunnusluku on noin $v_{w,95} = 0,2$. Voidaan todeta, että alue kuuluu rautatieliikenteen tärinän kannalta vähintään luokkaan C ja pääosin luokkiin A ja B. On lisäksi otettava huomioon, että VTT:n värähtelyluokitus on laadittu asumista ajatellen. Työpaikoilla tärinää ei koeta samalla tavalla häiritseväksi kuin asunnoissa. Monesti on häiritsevyyden arvioinnissa käytetty työpaikoilla kaksi kertaa suurempia raja-arvoja kuin asumisessa.

Rautatieliikenteen ei odoteta aiheuttavan nykyisten maankäyttöluonnosten mukaisessa tilanteessa, jossa rakennukset ovat yli 120 m päässä radasta, sellaista tärinää, jonka työntekijät havaitsisivat tai varsinkaan kokisivat häiritseväksi. Häiriötä voisi esiintyä vain, mikäli rakentamista osoitettaisiin kapealle 30...50 m kaistaleelle välittömästi radan viereen.

Geobotnia Oy



Olli Nuutilainen, DI



Tero Kuitto, RI

Liite: Sijaintikartta, 1 s.

SIJAINTIKARTTA

