

MITTAUSRAPORTTI

Projekti **Raholan radanvarsikortteli / 1510039131**
Asiakas **Arkta Rakennuttajat Oy**

Päivämäärä **27.8.2018**
Vastaanottaja **Anssi Kankaanpää / Arkta**
Lähtettäjä **Ville Lehtonen / Ramboll**
Tiedoksi

Raholan radanvarsikorttelin koepaalujen tärinämittaukset

Ramboll Finland Oy on Arkta Rakennuttajat Oy:n toimesta suorittanut Raholan rautatiekorttelin alueella täydentäviä liikennetärinämittauksia koerakenteista sekä Tammermaticin kiinteistöstä. Mittausten tarkoitus oli täydentää kevättalvella 2018 tehtyjä mittauksia, sekä tutkia paalutetun rakenteen tärinää koepaalutuksista tehtyjen mittauksen avulla. Mittausten teknisen toteutuksen suoritti Rambollin alikonsultti Finnrock Oy.

Taustaa, aiemmin tehty selvitys

Ramboll Finland Oy teki Arkta Rakennuttajat Oy:n ja YIT:n toimeksiannosta liikennetärinä- ja runkomeluseelvityksen Raholan radanvarsikorttelin kehityshankkeeseen liittyen (Raholan radanvarsikortteli tärinä- ja runkomeluseelvitys, Ramboll 15.3.2018). Selvitys perustui kahden suunnittelualueella sijaitsevan rakennuksen perustuksista mitattuun tärinään. Lisäksi tehtiin laskennalliset tarkastelut. Liikennetärinää ja runkomelua arvioitiin yleisesti käytössä olevien VTT:n julkaisujen mukaisesti.

Kevättalven mittaukset tehtiin jäätyneen maan olosuhteissa kahdesta alueella sijainneesta rakennuksesta (Tammermaticin kiinteistö, Tesoman valtatie 28; Nokian NPT:n kiinteistö, Kolismaankatu 3). Mittausten perusteella rakennusten värähtelyluokka on D (vw,95 < 0,6 mm/s), mikä ei ole ilman vaimennustoimenpiteitä tyypillisesti hyväksyttävällä tasolla uusille asuinrakennuksille. Lisäksi mittauksen perusteella arvioitu runkomelutaso ylittää asuinrakennusten ohjearvosuosituksen.

Talvella 2018 tehtyjen mittaustulosten yleispätevyyttä heikensivät kuitenkin jäätyneen maan olosuhteet, mikä vaikuttaa erityisesti pintamaan värähtelyyn, sekä olevien rakennusten maanvarainen perustamistapa (silttisen pohjamaan varassa). Alueelle tulevaisuudessa rakennettavat kerrostalot perustetaan todennäköisesti paaluille, mikä vaikuttaa liikennetärinän siirtymisreittiin (osa värähtelystä siirtyy kantavasta pohjamoreenista paalujen kautta perustuksiin; osa siirtyy perustuksiin silttikerroksen kautta).

Koemittaukset kesällä 2018

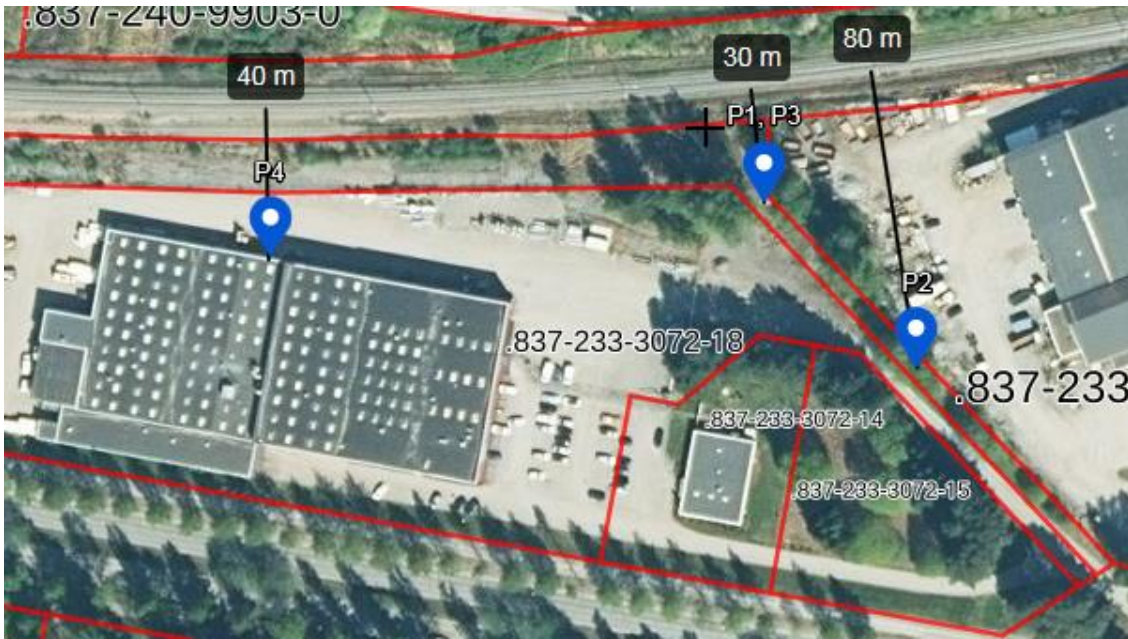
Kuvaus kohteen maaperä- ja liikenneolosuhteista on annettu raportissa Raholan radanvarsikortteli tärinä- ja runkomeluseelvitys, Ramboll 15.3.2018.

Heinäkuussa 2018 toteutettiin kevättalven mittauksia täydentävä mittaussjakso, jonka tarkoitus oli tarkemmin arvioida paaluille perustettujen rakennusten tärinää. Maahan asennettiin kaksi koepaalu P1 ja

P2 (etäisyydet n. 30 m ja 80 m radasta). Paalut olivat RR180-teräspaaluja, jotka asennettiin maahan kevyellä kaivinkonekalustolla. Kunkin paalun päälle asennettiin staattiseksi kuormaksi 2 kpl betonisia painoja (á n. 2 t/kpl). Koska painot tukeutuivat yhdeltä reunaltaan maahan, arvioitu paalun kannattama massa oli n. 2-3 t/paalu. Tärinämittarit asennettiin kunkin paalun alempaan painoon kiinni.

Lisäksi yksi mittauspiste (P3) asennettiin maahan rataa lähemmän paalun viereen. Tämän tarkoitus oli tuottaa vertailudataa tärinän erosta maaperän ja paalurakenteen välillä.

Neljäs mittari P4 asennettiin Tammermaticin kiinteistön sokkeliin samaan sijaintiin kuin kevättalven mitauksissa. Tämän tarkoitus oli verrata tärinän suuruutta talvi- ja kesäolosuhteissa.



Kuva 1. Mittauspisteiden sijainti alueella.

Mittaustulokset

Mittausjakso oli aikaväli 17.-25.7.2018. Kaikki mittarit mittasivat kymmeniä junan ohituksia. Rekisteröityneistä ohituksista suurin osa oli tavarajunia. Rataosalla on normaalitilanteessa 32 junan ohitusta päivässä.

Lisäksi mitattiin suuri määrä lyhytaikaisia värinä tapahtumia, joiden oletetaan olevan peräisin raskaiden ajoneuvojen liikkumisesta tehdasalueella. Nämä jätettiin huomioimatta datan käsittelyssä niin, että värinän tunnusluvut määritettiin junaliikenteen aiheuttamasta värinästä. Värinän tunnusluvut määritettiin yleisesti käytettyjen VTT:n ohjeiden mukaisesti (katso esim. aiempi selvitys Ramboll 15.3.2018)

Liikennetärinä

Taulukko 1. Mittausten perusteella määritetyt rakennuksen värähtelyn tunnusluvut. Vihreä = luokka B tai parempi. Keltainen = luokka C. Oranssi = Luokka D. Punainen = ylittää luokan D.

Mittari	maaperän värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}^{maa}$ (mm/s)	perustuksen värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}^{per}$ (mm/s)	rungon värähtelyn tunnusluku $v_{w,1}^{runko}$ (mm/s)	rungon värähtelyn tunnusluku $v_{w,2}^{runko}$ (mm/s) (resonanssi)	lattian värähtelyn tunnusluku $v_{w,1}^{lattia}$ (mm/s)	lattian värähtelyn tunnusluku $v_{w,2}^{lattia}$ (mm/s) (resonanssi)
P1 pysty	-	0,226			0,339	1,10 @ 12,5 Hz
P1 vaaka	-	0,196	0,294	-		
P1 pituus	-	0,262	0,393	-		
P2 pysty	-	0,271			0,406	1,13 @ 10 Hz
P2 vaaka	-	0,386	0,580	0,797 @ 5 Hz		
P2 pituus	-	0,295	0,443	0,462 @ 5 Hz		
P3 pysty	0,241	0,088			0,133	0,325 @ 40 Hz
P3 vaaka	0,304	0,125	0,187	-		
P3 pituus	0,335	0,126	0,189	-		
P4 pysty	-	0,230			0,343	1,22 @ 10 Hz
P4 vaaka	-	0,078	0,117	0,205 @ 5 Hz		
P4 pituus	-	0,095	0,142	-		

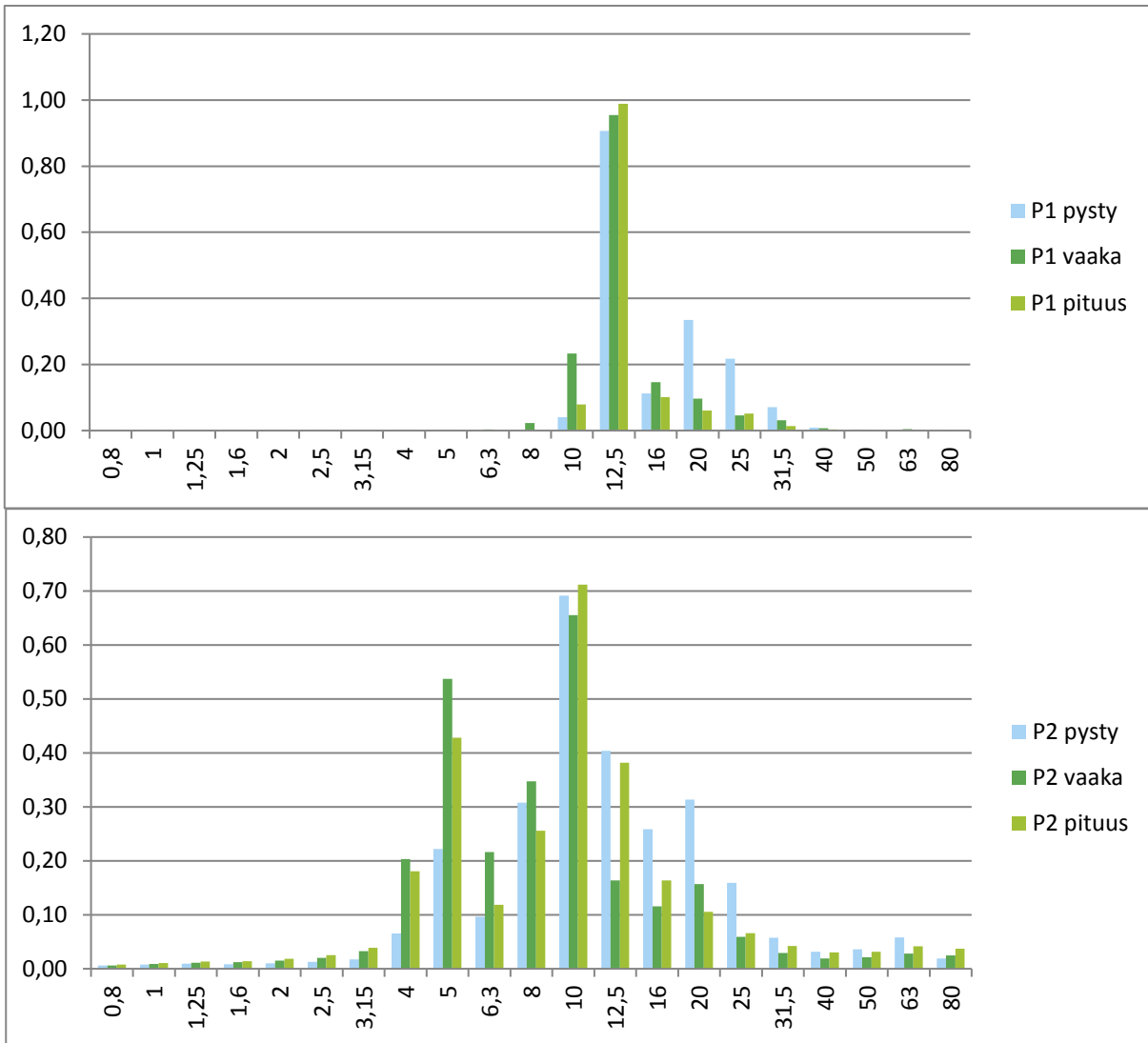
P1: paalu 30 m päässä radasta

P2: paalu 80 m päässä radasta

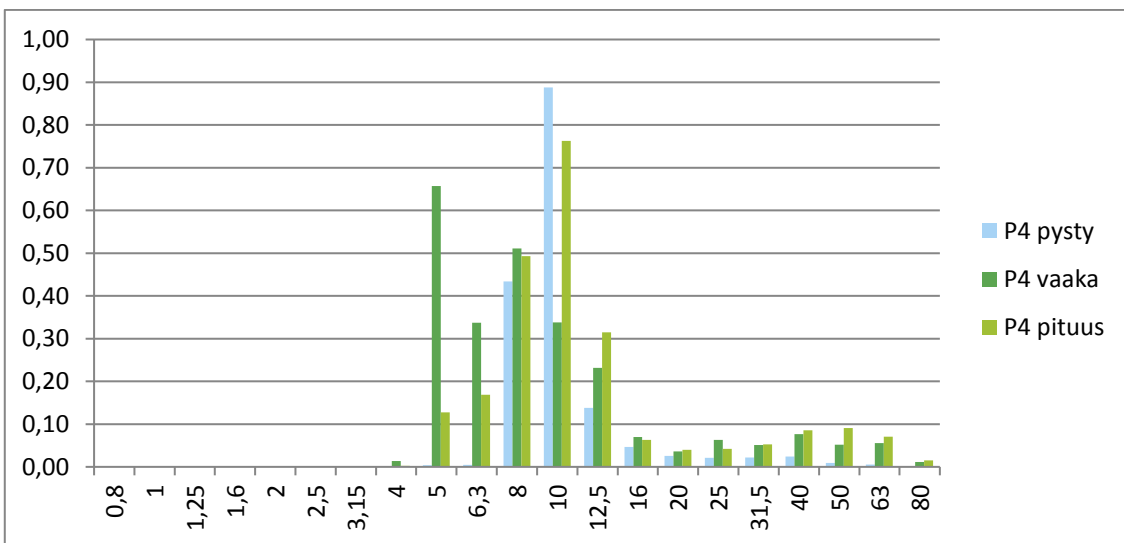
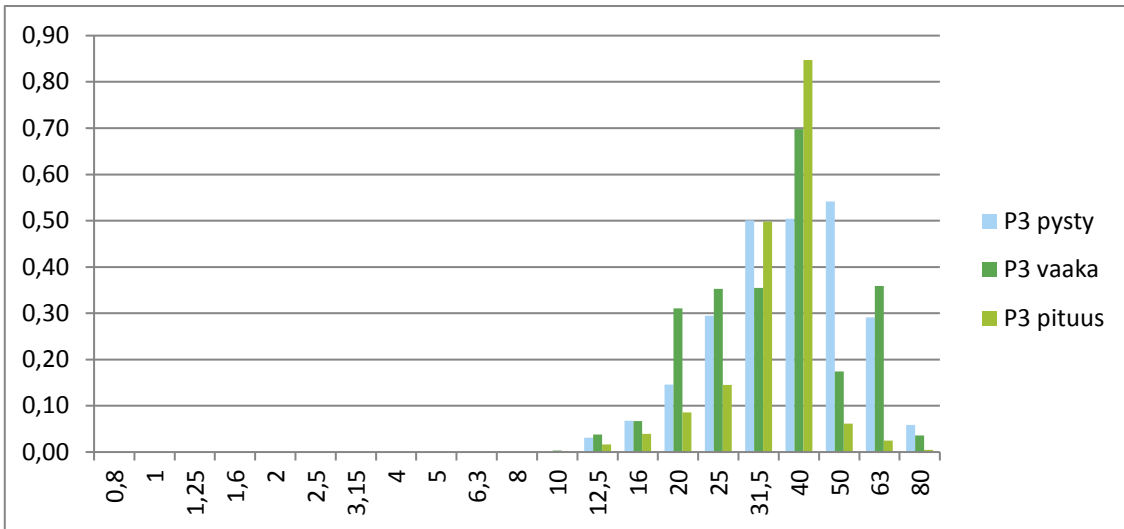
P3: maassa paalun P1 vieressä

P4: Tammermaticin rakennuksen sokkeli

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty kunkin mittarin 15 merkittävimmän värinä tapahtuman suhteellinen taajuussäily.



Kuva 2. 15 merkittävimmän mittaustapahtuman suhteelliset taajuuksisällöt pisteistä P1 ja P2 (koepaalut)



Kuva 3. 15 merkittävimmän mittaustapahtuman suhteelliset taajuuksisällöt pisteistä P3 (maassa paalun P1 vieressä) ja P4 (Tammermaticin talon sokkeli)

Hieman yllättäen radasta kauemman paalun P2 kohdalta mitattiin suurempaa tärinää kuin lähemmän paalun P1 kohdalta. Tämä saattaa johtua esim. siitä, että paalun P2 kohdalla maan ominaistajuus vastasi paalu-paino -yhdistelmän ominaistajuutta, jolloin paalu saattoi resonoida.

Pisteen P3 värähtely poikkeaa huomattavasti koepaalujen värähtelystä. Syynä on luultavasti poikkeava värähtelyn siirtotie (pintamaa vs. paalut) sekä "pelkän mittarin systeemistä" puuttuva massa. Näin ollen pisteen P3 värähtelyä ei suoraan kannata käyttää johtopäätösten tekemiseen.

Pisteen P4 värähtely vastaa käytännössä talvella tehtyjä mittauksia. Näin ollen pintamaan jäätymisellä ei ole vaikutusta kyseisen rakennuksen tärinään. Luultavasti värähtely välittyy perustuksiin syvemmältä maasta, jolloin pintamaan jäätymisen vaikutus jää pieneksi. Pisteen P4 tuloksia voi käyttää arvioimaan maanvaraisen rakennuksen tärinää.

Jos oletetaan, että lopullisessa rakenteessa resonanssia ei tapahdu (rakennusrungon ominaistajuus selvästi alempi kuin vallitsevat vaaka- ja pituussuuntaiset taajuudet; lattoiden ominaistajuus ei asetu vallitseville pystysuuntaisille taajuuksille), paaluperustusten rakenteiden värähtely asettuu **luokkaan D (vw,95 < 0,6 mm/s)**. Uusilta asuinrakennuksilta vaaditaan tyypillisesti luokan C (vw,95 < 0,3 mm/s)

raja-arvon täyttyminen. Näin ollen VTT:n ohjeiden W50 ja T2425 mukaisesti suoritettun tärinätarkastelun perusteella rakennukset vaativat toimenpiteitä liikennetärinän pienentämiseksi.

Rungon värähtelysuunnittelussa on vältettävä yli 5 Hz taajuuksia. Käytännössä tämä toteutuu parhaiten noin 5-kerroksisilla ja sitä korkeammilla rakennuksilla. Alle 5-kerroksisissa rakennuksissa riittävän alhaisen ominaistaajuuden saavuttaminen on mahdollista, mutta vaatii huolellisuutta värähtelysuunnittelussa.

Lattioiden värähtelysuunnittelussa on mahdollisuuksien mukaan vältettävä n. 8-20 Hz ominaistaajuuksia.

Nyt tehdyillä mittauksilla ei saatu määritettyä suoraa yhteyttä liikennetärinän vaimenemiseen etäisyyden radasta kasvaessa. Paikalliset maaperäolosuhteet, rakennuksen värähtelyominaisuudet ja värähtelyn siirtotien erot saattavat aiheuttaa paikallisesti epäedulliset tärinäolosuhteet myös suhteellisen kaukana radasta. Näin ollen nyt saatavilla olevalla tiedolla suositellaan tärinän huomiointia koko suunnittelualueella etäisyydestä riippumatta.

Runkomelu

Taulukossa 2 on esitetty värinämittausten perusteella määritetty runkomelutaso eri pisteille. Laskennassa on käytetty seuraavia VTT 2468 mukaisia korjaustekijöitä:

- A-painotus taajuuskaistoittain (≥ 16 Hz)
- Muunnos värähtelytasosta äänenpainetasoksi -28,1 dB
- Rakennustyyppi kerrostalo, -10 dB
- Kerroskorjaus -2 dB (oletetaan, että maan tasolla ei asuntoja)
- Rakenneseosien resonanssin mahdollisuus +6 dB
- Varmuusmarginaali +3 dB

Taulukko 5.2. Mitatun liikennetärinän perusteella määritetyt runkomelun tunnusluvut

Mittari	keskimääräinen runkomelutaso $L_{pASmax,mean}$ (dBA)	standardihajonta s (dBA)	runkomelun tunnusluku L_{prn} (dBA)	yli 35 dBA ohituksia mittausjaksolla (kpl)
P1 - pysty	31,0	5,27	39,7	1
P1 - vaaka	33,8	7,84	46,8	3
P1 - pitiuus	33,2	8,12	46,6	5
P2 - pysty	29,3	8,96	44,0	1
P2 - vaaka	38,1	13,63	60,6	7
P2 - pitiuus	36,8	8,17	50,3	6
P3 - pysty	45,5	4,00	52,1	>15
P3 - vaaka	46,7	4,02	53,4	>15
P3 - pitiuus	44,6	1,59	47,3	>15
P4 - pysty	35,8	4,46	43,1	7
P4 - vaaka	32,2	8,69	46,5	2
P4 - pitiuus	32,9	6,55	43,7	3

Runkomelutuloksista voi selvästi erottaa koerakenteet sekä oleva maanvarainen rakennus (P1, P2 ja P4), sekä suoraan maasta tehdyt mittaukset (P3). Piste P3 värähtelyn taajuussisältö on huomattavasti korkeampi kuin koerakenteiden ja rakennuksen (kts. kuvat 2 ja 3), mikä näkyy huomattavasti suurempana keskimääräisenä runkomelutasona. Rakennusten värähtely on huomattavasti maaperää alhaisempitaajuuksista (suurimmaksi osaksi ihmisen kuulokynnyksen alapuolella), jolloin runkomelutaso jää pienemmäksi. Näiltä osin maasta mitattu (P3) ja ohjeiden mukaan laskettu runkomelutaso ei ole rakennusten tilannetta kuvaava.

Vaikka ohjeen VTT 2468 mukaisesti lasketut rakenteiden runkomelutason tunnusluvut ylittävätkin ohjeosuusuosituksen 35 dBA selvästi, suuri hajonta nostaa laskettua tunnuslukua kohtuuttoman suureksi. Käytännössä 15 merkittävimmän ohituksen keskiarvoa voi pitää paremmin runkomelutasoa kuvaavana suureena. Viikon aikana yli 35 dBA ohituksia pisteissä P1, P2 ja P4 oli vain alle 1 kpl/päivä, mitä voi pitää hyväksyttävänä tasona. Suurimmat yksittäiset ohitukset pisteissä P1, P2 ja P4 olivat noin 40 dBA tasoa.

Uusien rakennusten massa ja dimensiot ovat nyt mitattuja koerakenteita suurempia, ja ominaistajuus lopullisessa rakenteessa on mitä luultavimmin pienempi kuin nyt tehdyissä mittauksissa. Näin ollen lopullisten rakennusten runkomelutaso on todennäköisesti tässä arvioitua pienempi, joskaan kvantitatiivista arviota ei tässä yhteydessä voida tehdä.

Johtopäätökset

Heinäkuussa 2018 tehtyjen koemittausten perusteella voidaan todeta seuraavaa Raholan radanvarsikorttelin tärinäolosuhteista:

- Sekä kahdesta koepaalurakenteesta että maanvaraisesta Tammermaticin rakennuksesta tehtyjen tärinämittausten perusteella liikennetärinäluokka alueella ylittää luokan C ($v_{w,95} < 0,3$) raja-arvon, jota tyypillisesti edellytetään uusilta asuinrakennuksilta. Mitattu liikennetärinä asettuu luokkaan D ($v_{w,95} < 0,6$ mm/s).
- Uusien rakennusten tärinää voidaan kuitenkin vähentää huolellisella värähtelysuunnittelulla sekä tärinän torjuntatoimenpiteillä. Nämä toimenpiteet tulee suunnitella ja mitoittaa viimeistään rakennusten rakennussuunnitteluvaiheessa siten, että huomioidaan mm. värähtelyn tärinäsisältö, rakennusten värähtelyominaisuudet ja rakennuksille sallittu painuma. Tämä suunnittelu tehdään tyypillisesti rakenne- ja akustiikkasuunnittelun yhteistyönä.
- Tärinää voidaan vähentää esimerkiksi:
 - o Rakennusten huolellisella värähtelysuunnittelulla (mukaan lukien dynaaminen FEM-mallinnus)
 - o Asentamalla tärinäeristimet rakennuksen perustuksiin. **Eristeiden mitoitus on rakennuskohtaista, ja riippuu mm. rakennuksen massasta, perustamisratkaisusta, sallituista painumista, tärinän taajuussisällöstä sekä valitun eristetutteen ominaisuuksista.**
 - o Vähentämällä liikennetärinää alueellisesti. Tähän voidaan käyttää esim. maahan radan ja rakennusten väliin asennettavalla ponttiseinällä. Tämän ratkaisun toimivuus on kuitenkin hyvin kohdekohtaista, ja olisi suositeltavaa tarkistaa seinän asennuksen jälkeen tehtävillä koemittauksilla.
- Tärinän huomiointia suositellaan koko suunnittelualueella.
- Mitatusta tärinästä laskettu runkomelutaso jää tulkinnasta riippuen lähelle 35 dBA ohjearvosuositusta (keskiarvo), tai ylittää sen selvästi (tulosten hajonnan huomioiva tunnusluku). Käytännössä runkomelu saadaan huomioitu tärinälle joka tapauksessa tarvittavilla toimenpiteillä. Esimerkiksi tärinäeristimet pienentävät perustusten ominaistajuutta, jolloin ihmisen kuultavat korkeat taajuudet eivät siirry tehokkaasti rakennukseen.

Ramboll Finland Oy
Ville Lehtonen
TkT, projektipäällikkö

LIITE 1: mittaustulokset, 15 suurinta tärinätapahumaa

P1: paalu 30 m päässä radasta

P2: paalu 80 m päässä radasta

P3: maassa paalun P1 vieressä

P4: Tammermaticin rakennuksen sokkeli

Aika	P1 pysty v_w (mm/s)	P1 vaaka v_w (mm/s)	P1 pituus v_w (mm/s)
25.7.2018 8:54	0,25	0,179	0,271
24.7.2018 13:13	0,165	0,15	0,245
24.7.2018 8:32	0,161	0,182	0,244
24.7.2018 8:16	0,131	0,18	0,234
25.7.2018 10:42	0,126	0,155	0,216
19.7.2018 16:04	0,115	0,103	0,201
20.7.2018 1:49	0,243	0,09	0,196
24.7.2018 17:57	0,101	0,137	0,18
25.7.2018 7:44	0,106	0,126	0,177
23.7.2018 17:21	0,092	0,156	0,169
19.7.2018 15:13	0,089	0,077	0,168
19.7.2018 14:08	0,101	0,095	0,165
18.7.2018 20:21	0,093	0,083	0,167
17.7.2018 14:11	0,081	0,135	0,17
25.7.2018 10:49	0,096	0,109	0,159

Aika	P2 pysty v_w (mm/s)	P2 vaaka v_w (mm/s)	P2 pituus v_w (mm/s)
23.7.2018 3:25	0,055	0,475	0,244
24.7.2018 8:32	0,222	0,323	0,269
16.7.2018 19:40	0,228	0,290	0,243
18.7.2018 18:31	0,082	0,283	0,152
19.7.2018 8:58	0,065	0,280	0,179
19.7.2018 14:42	0,068	0,273	0,078
17.7.2018 8:55	0,298	0,270	0,283
17.7.2018 19:57	0,069	0,266	0,094
20.7.2018 14:29	0,201	0,260	0,188
18.7.2018 9:23	0,108	0,258	0,194
18.7.2018 23:14	0,079	0,256	0,154
19.7.2018 12:15	0,068	0,246	0,107
24.7.2018 13:13	0,192	0,229	0,220
20.7.2018 4:00	0,029	0,230	0,100
25.7.2018 8:27	0,106	0,222	0,160

Aika	P3 pysty v_w (mm/s)	P3 vaaka v_w (mm/s)	P3 pituus v_w (mm/s)
16.7.2018 21:50	0,183	0,257	0,356
19.7.2018 8:58	0,200	0,258	0,320
20.7.2018 21:23	0,186	0,188	0,305
18.7.2018 23:14	0,216	0,293	0,293
17.7.2018 8:50	0,120	0,177	0,285
23.7.2018 21:06	0,123	0,169	0,264
20.7.2018 1:49	0,176	0,208	0,262
24.7.2018 1:56	0,153	0,224	0,254
25.7.2018 0:54	0,144	0,190	0,250
18.7.2018 3:14	0,094	0,097	0,247
17.7.2018 1:45	0,124	0,199	0,248
25.7.2018 8:54	0,231	0,259	0,240
19.7.2018 21:19	0,179	0,190	0,236
23.7.2018 3:25	0,174	0,212	0,221
18.7.2018 3:49	0,064	0,076	0,225

Aika	P4 pysty v_w (mm/s)	P4 vaaka v_w (mm/s)	P4 pituus v_w (mm/s)
24.7.2018 21:36	0,334	0,054	0,108
17.7.2018 1:45	0,296	0,073	0,101
20.7.2018 21:52	0,273	0,048	0,096
16.7.2018 23:06	0,265	0,234	0,166
17.7.2018 2:45	0,256	0,045	0,073
25.7.2018 8:54	0,237	0,163	0,174
16.7.2018 15:02	0,233	0,034	0,063
19.7.2018 21:48	0,216	0,040	0,070
19.7.2018 1:04	0,216	0,044	0,082
21.7.2018 2:45	0,212	0,031	0,078
18.7.2018 23:14	0,204	0,207	0,137
17.7.2018 21:31	0,187	0,056	0,066
25.7.2018 0:54	0,180	0,056	0,074
20.7.2018 22:21	0,175	0,046	0,074
24.7.2018 2:45	0,161	0,040	0,058