

Rajamäen keskustan tärinäanalyysit

Rataliikenteen tärinävaikutukset ympäröiviin rakennuksiin

Seloste tärinäarvioinnista
15.05.2020



Kuvaote Google Maps, Rajamäen keskustaa

SISÄLLYSLUETTELO

1	YLEISTÄ.....	3
2	LÄHTÖTIETOJA.....	3
3	KISKOLIIKENTEEN TÄRINÄT	4
4	SUUNNITELLUN ALUEEN KUVAUS.....	5
5	NUMEERINEN ANALYYSI	7
6	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄ	11
7	TIIVISTELMÄ	13
	KIRJALLISUUTTA	13

1 YLEISTÄ

Työn tavoitteena on ollut arvioida rataliikenteen tärinävaikutuksia Nurmijärvellä Rajamäen alueella radan (Hanko – Hyvinkää) varteen sijoittuvan Seitsemän Veljeksien koulun ja pohjoisempana olevan Vihtakujan kohdilla. Hyvänä käytäntönä kaavaselostuksissa on perusteltua ottaa huomioon seuraavaa: *Värähtelymittausten perusteella rakentamisen kannalta huomioitava tärinäalue ulottuu radan varressa noin 70 ... 100 metrin etäisyydelle lähimmästä raiteesta. Näillä alueilla jatkosuunnittelussa tulee varmistaa, ettei rakennusten runko- ja välipohjarakenteiden resonanssitaajuuksia mitoiteta maaperässä esiintyvien värähtelyhuippujen kohdalle /4/. Tässä selvityksessä tarkastellaan vain tärinävaikutuksia.*

Rautatieliikenteen tärinävaikutuksien arviointi perustuu tässä osaltaan muissa projekteissa tehtyjen vastaavien tärinämittausten tuloksiin sekä suoritettuun numeeriseen analyysiin. Arvioinnissa otetaan huomioon maaperän ominaisuudet ja raiteiden etäisyys rakennuksista. Arviointi perustuu olemassa olevaan maaperäaineistoon. Tilaja luovuttaa selvityksen tekijän käyttöön maaperätiedot linjauksen läheisyydestä valmiina kartta-aineistona sekä tarvittaessa perustamistapatiedot maastokatselmuksen havaintojen perusteella erikseen määritettyjen rakennusten osalta.

2 LÄHTÖTIETOJA

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

Taulukko 1. Suositus asuinrakennusten ja vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksista /1/.

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

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

Taulukko 2. Rakennusten perustusten vaurioalttiuden rajaamisessa käytettävät kriteerit /3/.

Värähtely-luokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	Heilahdus-nopeuden huippuarvo V_{max} [mm/s]	Tunnusluku $V_{rms,95}$ [mm/s]
V	Kohonneen värähtelyolosuhteiden alue <i>Rakenteiden vauriot mahdollisia</i>	$\geq 3,0$	$\geq 5,0$
H	Vähäisen värähtelyolosuhteiden alue <i>Rakenteiden haitat mahdollisia</i>	$\leq 3,0$	$\leq 5,0$
E	Rakenteiden vaurioriski epätodennäköinen	$\leq 1,0$	$\leq 1,6$

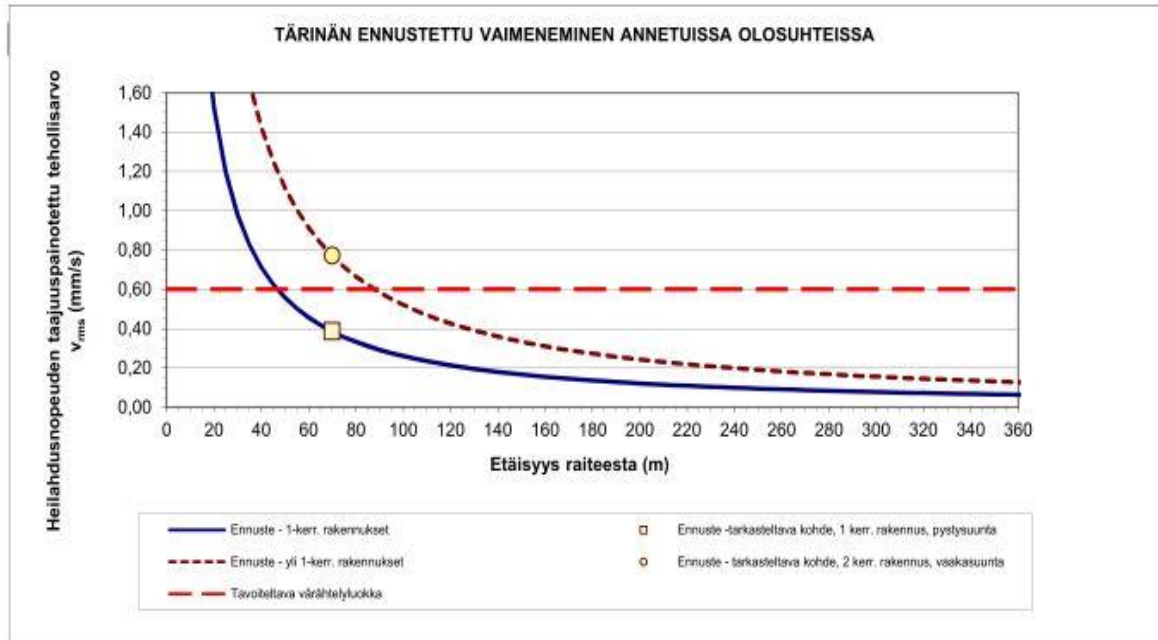
Tärinän tuottamaa haittaa asumismukavuudelle maankäytön suunnittelussa arvioidaan tunnusluvun perusteella. Tämä perustuu yksittäisten liikennetapahtumien suurimpiin värähtelytehoarvoihin ja näiden perusteella laskettuun keskiarvoon sekä hajontaan siten, että $v'_{rms,95}$ on viidentoista suurimman yksittäisen tapahtuman keskiarvo lisättyä 1.8 kertaa viidentoista suurimman yksittäisen tapahtuman hajonta.

3 KISKOLIIKENTEEN TÄRINÄT

Tärinähaitat on otettava huomioon yhdyskuntasuunnittelussa. Liikennetärinä voi olla asuinrakennusten lisäksi häiritsevää esimerkiksi julkisissa tiloissa, joissa on tärinäherkkiä laitteistoja. Valitusten lisääntyminen voi olla seurausta esimerkiksi liikenteellisistä muutoksista ja radan rakenteissa tapahtuneista muutoksista sekä myös ilmastollisista sääolosuhteista, kuten roudasta ja pohjaveden pinnan muutoksista. Tärinäriskiä pidetään yleensä suurehkona, mikäli maaperä koostuu pehmeistä maalajeista tai löyhistä kerroksista, kun pohjavesi on läsnä. Kuitenkin paikallisesti kaltevat tiiviit karkearakeiset kerrokset ja erityisesti kallio saattaa nostaa heijastusten kautta tärinän vastetta.

Tärinän heilahdusnopeudet saattavat voimistua resonanssi-ilmiö vaikutuksesta. Rakennusten ja rakenteiden ominaistajuudet on syytä selvittää, jotta voidaan arvioida riskiä resonanssin esiintymiseen. Resonanssitilanteessa systeemi menettää rakenteellisen toimintakykynsä. Useimmiten kuitenkin junaliikenteen tuottama resonanssitilanne vaatii pitkähkön raskaan kaluston muodostaman syklistarjan (10...15 toistuvaa harmonista herätettä). Värähtelyn ominaistajuudet ja –muodot määritetään dynaamisilla analyyseillä mahdollisen rakenteellisen systeemin resonanssitilanteen selvittämiseksi.

Tärinän leviäminen ympäristössä herätelähteestä on mahdollista arvioida alustavasti esimerkiksi oheisen kuvan 1 mukaisella mallilla. Kuva 1 edustaa tällaista esimerkkitapausta. VTT:n ohje ”Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa” /1, 2, 4/ esittää tällaisten ennustekäyrien arviointiperiaatetta.

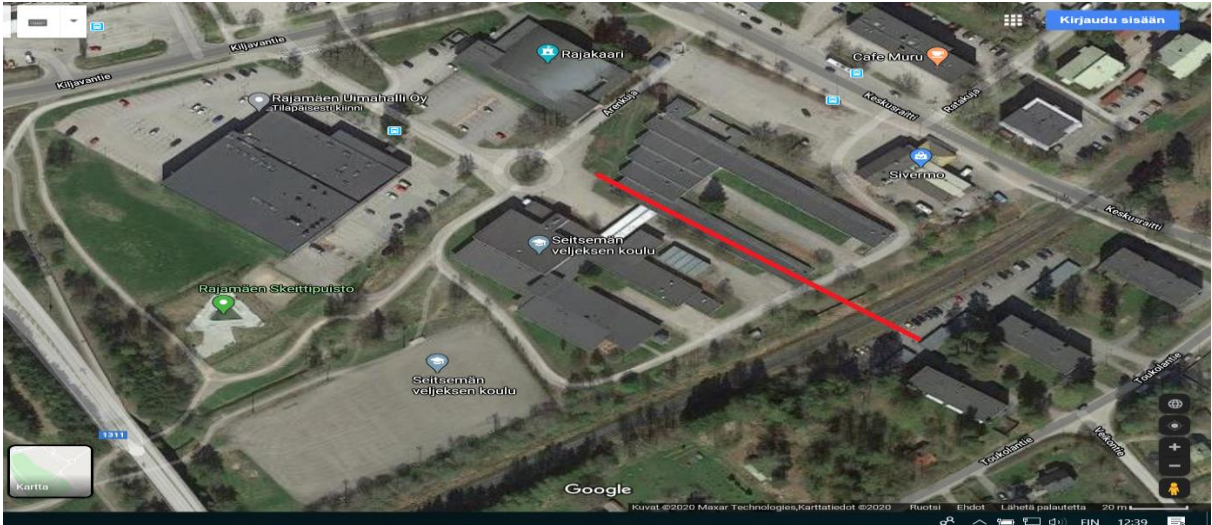


Kuva 1. Esimerkki tärinän leviämisestä tärinälähteestä ympäristöön /1, 2, 4/.

4 SUUNNITELLUN ALUEEN KUVAUS

Seitsemän Veljeksien koulu

Alue sijaitsee Nurmijärvellä Rajamäen alueella (kuva 2). Radan kv on rakennusten kohdalla noin tasolla + 88. Tontilla maanpinnassa on kalliota paljastuneena ja sen taso on paikoin suhteellisen korkealla. Pohjatutkimuskairaukset radan puolisella alueella ovat päättyneet kiviin, kallioon tai tiiviiseen maakerrokseen. Maanpinta on keskimäärin tasolla +87. Poikkileikkauksen kohdalla on havaittavissa savi-, hiekka- ja sorakerrostumia usean metrin paksuudelta (ks. kuva 4). Kohteen rakennus on moniosainen yksikerroksinen ja kellarillinen.

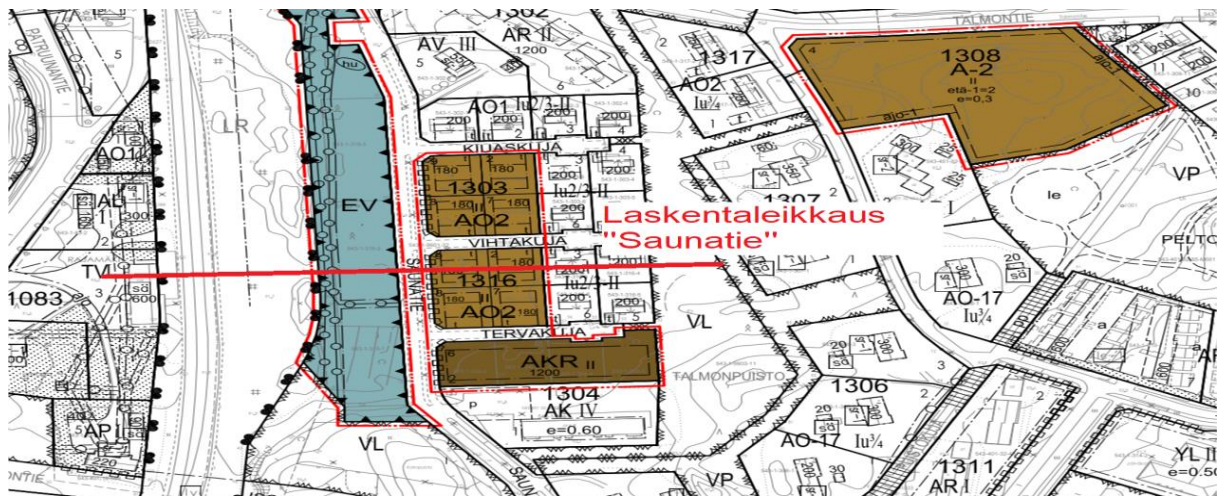


Kuva 2. Nurmijärven Rajamäen aluetta, Seitsemän Veljeksien koulun kohta.

Läheisillä kaduilla on kaksisuuntaista auto-, bussi-, kuorma-autoliikennettä. Nopeusrajoitus on 40 km/h. Ajouradan kunto on hyvä. Näiden vasteita ei kuitenkaan tarkastella tässä yhteydessä. Tarkasteltava rakennus on sijoitettu lähimmillään noin 32 m etäisyydelle raiteen keskilinjasta. Rata (Hanko – Hyvinkää) on yksiraiteinen. On arvioitavissa, että liikennetiheys on (vain tavarajunia) enintään 10 junaa vuorokaudessa.

Saunatien (Vihtakujan) kohta

Alue sijaitsee Nurmijärvellä Rajamäen alueella (kuva 3). Radan kv on rakennusten kohdalla noin tasolla + 87. Tontti on pehmeiköllä ja pinnan rakennekerrosten alla on savea paikoitellen yli 5 m, jonka alapuolella on karkeampia kerroksia. Pohjatutkimuskairaukset radan puolisella alueella ovat päättyneet kiviin, kallioon tai tiiviiseen maakerrokseen. Maanpinta on keskimäärin tasolla +87. Tällä alueella ratapenkereen korkeuseroa ei juurikaan ole havaittavissa. Poikkileikkauksen kohdalla on havaittavissa savi-, hiekka- ja sorakerrostumia usean metrin paksuudelta (ks. kuva 4). AKR kohtaa ei tutkita parempien pohjasuhteiden takia.



Kuva 3. Nurmijärven Rajamäen aluetta, Saunatien (Vihtakujan) kohta.

Läheisillä kaduilla on kaksisuuntaista auto-, bussi-, kuorma-autoliikennettä. Nopeusrajoitus on 40 km/h. Ajouradan kunto on hyvä. Näiden vasteita ei kuitenkaan tarkastella tässä yhteydessä. Tarkasteltava rakennus on sijoitettu lähimmillään noin 110 m etäisyydelle kuormitetun (arvioitu epäedullisin tilanne) raiteen keskilinjasta. Rata (Hanko – Hyvinkää) on kohdalla moniraiteinen (kuormausalue). Kohteeseen kaavoitettavat rakennukset ovat kaksikerroksisia kellarittomia pientaloja.

5 NUMEERINEN ANALYYSI

Yleistä

Kattavan värinän vaikutusarvioinnin tuottamiseksi kohteessa on tehty numeerinen laskenta. Taustalla on tarve ottaa huomioon rakennuskanta analyysin yhteydessä, koska värinän vaste muodostuu erilaiseksi mitattaessa sitä luonnontilaisessa maaperän kohdassa ilman kohteeseen tulevaa rakennusta. Lisäksi vastetta dominoi usein ns. lovipyöräheräte, jonka vaikutus on normikaluston tuottamaan herätteeseen 5...10-kertainen.

Pohjasuhteet arviointiin on valittu saatavissa olleiden maaperätietojen perusteella. Tarkastelussa on käsitelty kohdittain paikalliset pohjasuhteet ja empiirisen, kirjallisen sekä laskennallisen tiedon pohjalta arvioitu vastaavassa kohdassa esiintyvä värähtelyn eteneminen.

Analyysissä on parametreina käytetty muodonmuutosmoduulia E , suppeumalukua ν sekä materiaaliheyttä ρ . Lisäksi on sovellettu kerrosten vaimennuskertoimia α ja β , jotka on arvioitu perustuen 5 % kokonaisvaimennusoletukseen sekä massan ja jäykkyyden keskinäiseen jakaumaan 1/3 ja 2/3, vastaavasti.

Lujuusparametreja (myötöehto) ei ole määritetty dynaamisessa analyysissä pienten muodonmuutostasojen vuoksi. Laskentaohjelman käyttämät aallonnopeudet tulevat määritetyiksi ohjelmassa elastisten moduulien ja massatiheyksien perusteella (esim. $v_p = (E / \rho)^{1/2}$).

Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia ”pakkovärähtelyanalyysinä”. Mallissa, jonka materiaalikäyttäytyminen on lineaarista, on elementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa värinän aallonpituutta. Värinän vasteita on havainnointi maanpinnan tasolla yhdessä pisteessä ja rakennuksen eri kerroksissa.

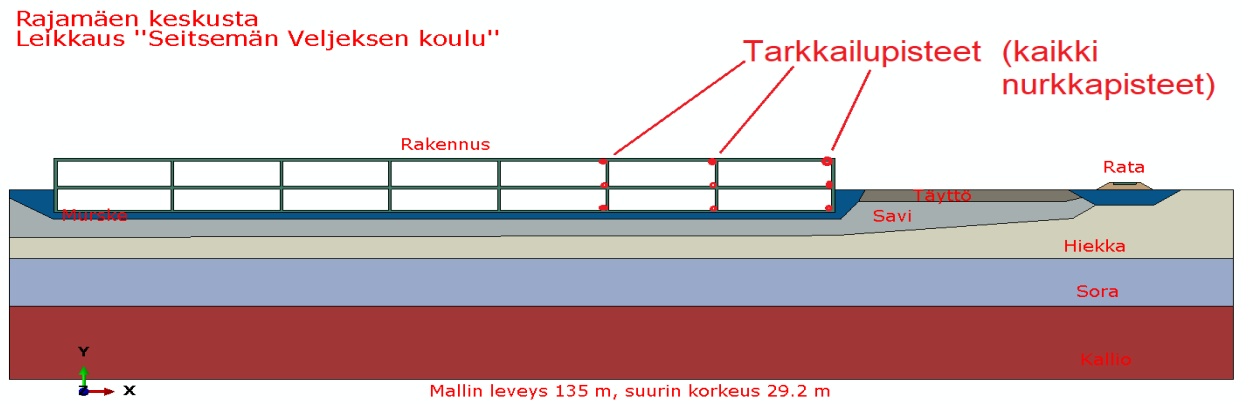
Dynaamisessa analyysissä kytkettiin rakenteen kiskoja kuvaaviin solmuihin arvioidun värinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennoissa käytetty kuorman kaksoisharmoninen amplitudi on saatu empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon akselipaino ja lovipyöräefektin hallitseva osuus. Laskennan aikajaksoksi valittiin 0.4 s. Junan nopeutena käytettiin 80 km/h ja akselipainona 20 tonnia.

Seitsemän Veljeksien koulu

Laskennan mallipoikkileikkaus (kuva 3) – laskentakohta ilmenee raportin kansikuvasta - on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid -tyyppisiä lineaarisia

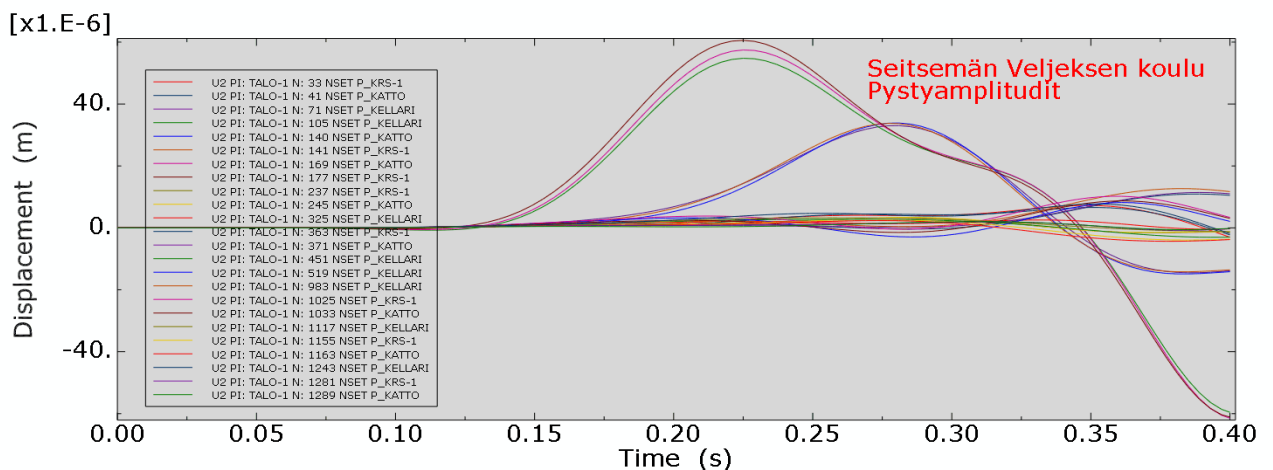
tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF -luku on 2 kpl solmua kohden (translaatiovapausasteet). Mallin koko oli DOF = 35700. Mallin reunat ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Laskentamallin kokonaisleveys on 135 m ja korkeus 29.2 m. Rakennuksen leveys on 86 m.

Mallinnetun talon runkojäykkyys on yksinkertaistettu kuvan 4 mukaiseksi. Jäykistys oletetaan tapahtuvan osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus on perustettu maanvaraisesti murskeen varaan (pehmeiköstä huolimatta).

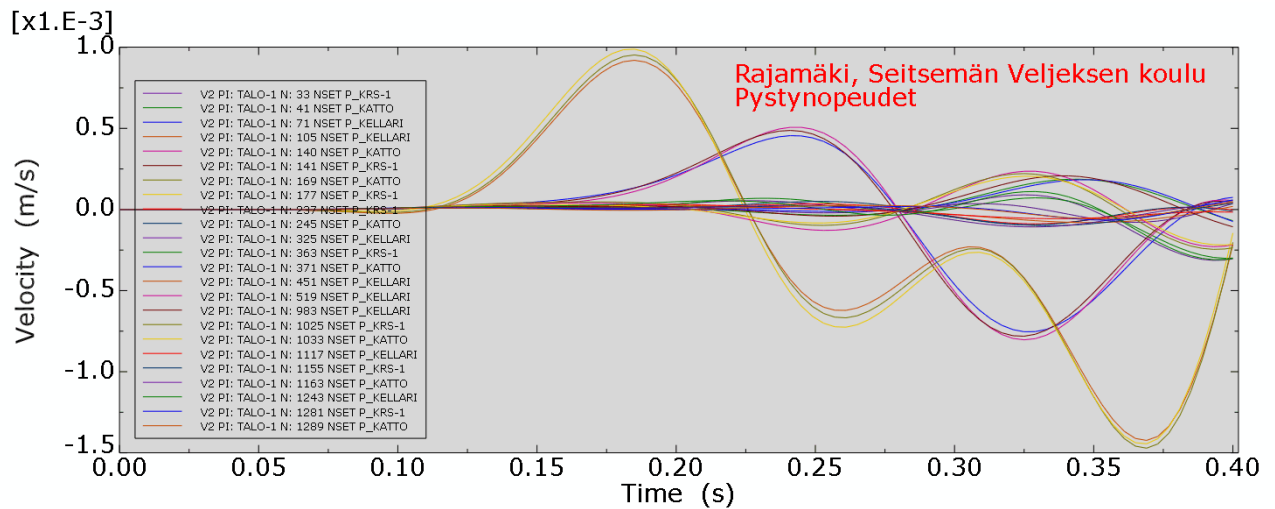


Kuva 4. Laskentamalli (2D) rakennuksen ja ympäröivän maan yhteistoimintaan, Seitsemän Veljeksen koulu, edustava leikkaus.

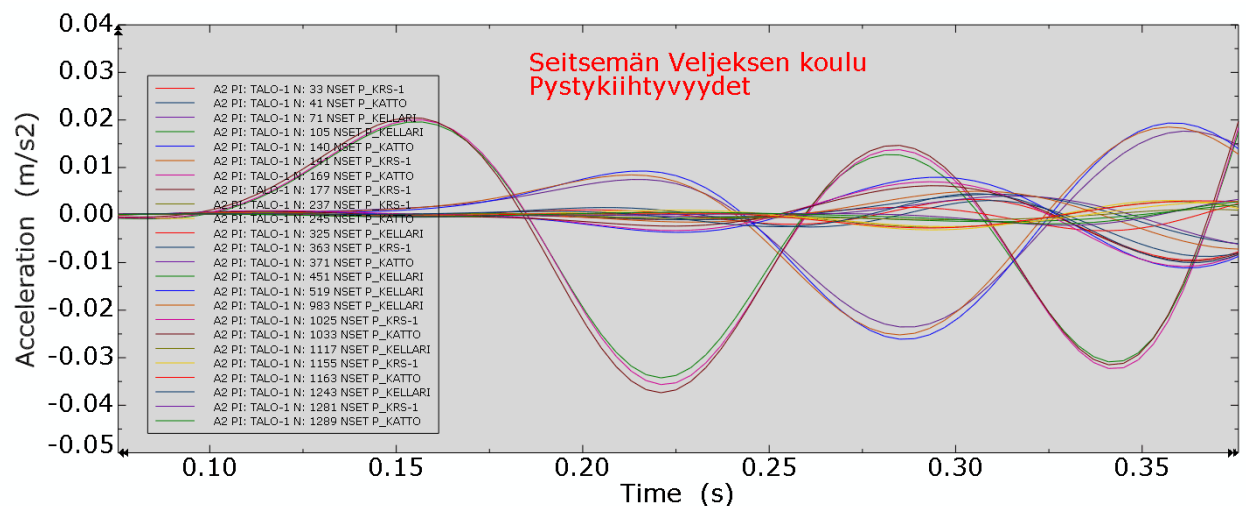
Radasta aiheutuvan junaherätteen tuottamat siirtymien komponentit tietyissä tarkkailupisteissä (kuva 3) on esitetty kuvassa 4. Kuvasta 5 puolestaan ilmenee nopeusvasteet ja kuvasta 6 kiihtyvyydvasteet. Kuvissa esitetty vain pystyvasteet, koska vaakasuuntaiset vasteet ovat selkeästi pienempiä. Tämä johtuu pitkänomaisen rakenteen hyvästä pitkittäisjäykkyudestä. Tarkkailupisteissä vasteet ovat alle VTT:n ohjeiden viitearvojen.



Kuva 5. Rakennuksen pystysuuntaiset siirtymäkomponentit tarkkailupisteissä laskentajaksolla (0.5 s). Viitearvona (suurin sallittava) voidaan pitää enimmillään arvoa $y = 0.25$ mm. Vasteiden laskennalliset ääriarvot (noin 0.06 mm) ovat noin 15 % viitearvoista (rms-arvo huomioitu).



Kuva 6. Rakennuksen pystysuuntaiset nopeuskomponentit tarkkailupisteissä laskentajaksolla (0.5 s). Viitearvona (suurin sallittava) voidaan pitää enimmillään arvoa $v = 0.3$ mm/s. Vasteiden laskennalliset ääriarvot (noin 0.9 mm/s) ovat noin 90 % viitearvoista (rms-arvo huomioitu).



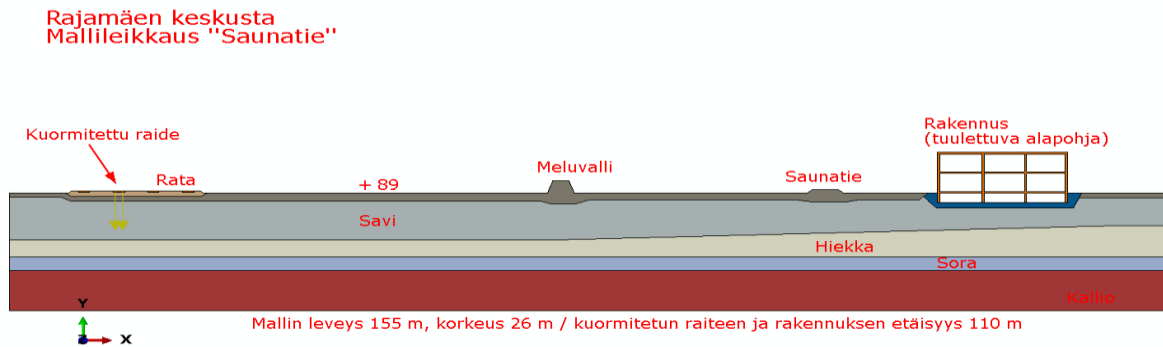
Kuva 7. Rakennuksen pystysuuntaiset kihtyvyys-komponentit tarkkailupisteissä laskentajaksolla (0.5 s). Viitearvona (suurin sallittava) voidaan pitää enimmillään arvoa $a = 0.25$ g (= 2.5 m/s²). Vasteiden laskennalliset ääriarvot (noin 0.04 m/s²) ovat noin 1 % viitearvoista (rms-arvo huomioitu).

Tarkastelupisteen sijainnin suhteen voidaan nopeuksien pystykomponenttien kuvaajista havaita, että ne pienenevät luonnollisesti etäisyyden kasvaessa kuormituspisteestä. Nopeudet ovat suurimmillaan kuormituspisteessä, jossa pystykomponentit ovat luonnollisesti hallitsevia. Pääosin inertiaikutuksista johtuen havaitaan myös maamassan aaltoilua. Kauempana herätekohdasta havaitaan yleensä vaakasuuntaisten komponenttien suhteellisen osuuden selkeää kasvua. Rakennuskorkeuden kasvaessa vaakasuuntaiset värähtelyt ovat hallitsevia, mutta tässä tapauksessa eivät vielä ylitä asetettuja viitearvoja.

Saunatien (Vihtakujan) kohta

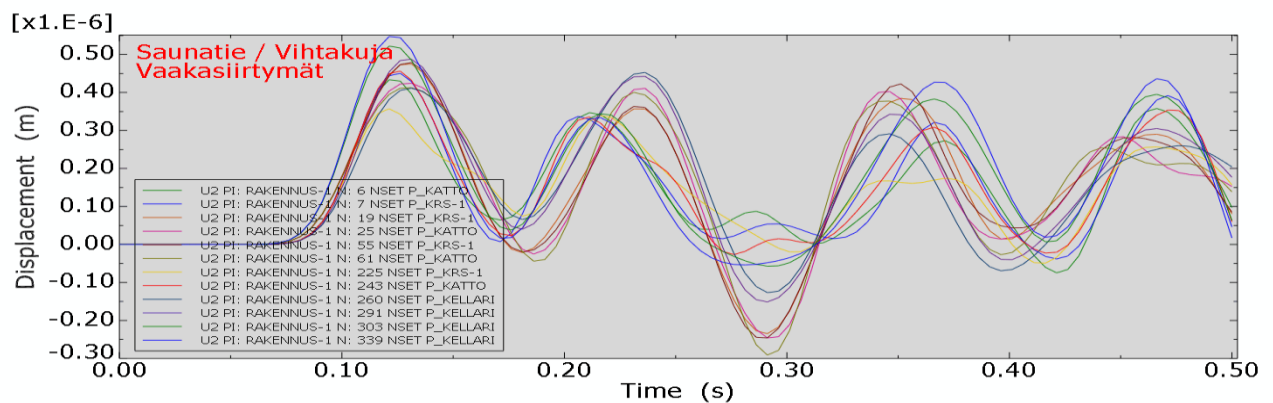
Laskennan mallipoikkileikkaus (kuva 7) – laskentakohta ilmenee raportin kansikuvasta - on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid -tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF -luku on 2 kpl solmua kohden (translaati vapausasteet). Mallin koko oli DOF = 32600. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Laskentamallin kokonaisleveys on 155 m ja korkeus 26 m. Rakennuksen leveys on 17.5 m.

Mallinnetun talon runkojäykkyys on yksinkertaistettu kuvan 7 mukaiseksi. Jäykistys oletetaan tapahtuvan osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus perustetaan paaluille pehmeikön takia. Mallinnuksessa on paalutus huomioitu virtuaalisesti muodostamalla elementaariset sidosytälöt rakennuksen ja kovan pohjan välille.

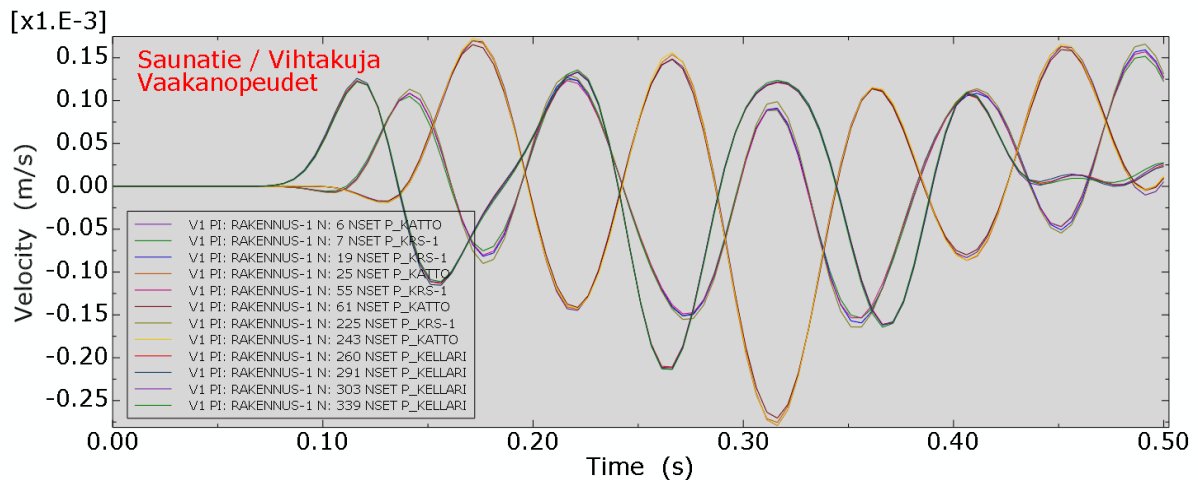


Kuva 8. Laskentamalli (2D) rakennuksen ja ympäröivän maan yhteistoimintaan, edustava leikkaus.

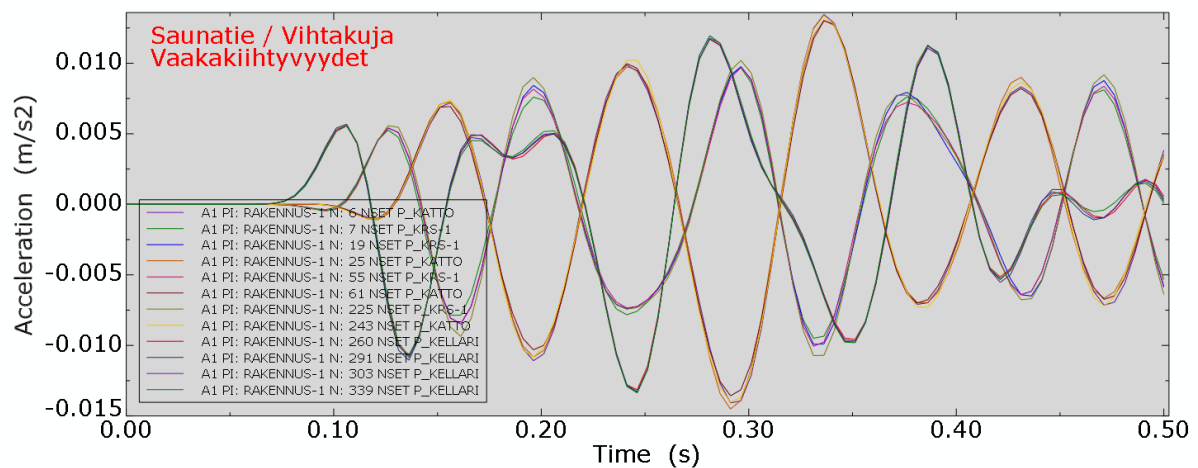
Radasta aiheutuvan junaherätteen tuottamat siirtymien komponentit tietyissä tarkkailupisteissä (kuva 7) on esitetty kuvassa 8. Kuvasta 9 puolestaan ilmenee nopeusvasteet ja kuvasta 10 kiihtyvyydvasteet. Kuvissa esitetty vain vaakavasteet, koska pystysuuntaiset vasteet ovat selkeästi pienempiä. Tarkkailupisteissä vasteet ovat alle VTT:n ohjeiden viitearvojen.



Kuva 9. Rakennuksen vaakasuuntaiset siirtymäkomponentit tarkkailupisteissä laskentajaksolla (0.5 s). Viitearvona (suurin sallittava) voidaan pitää enimmillään arvoa $y = 0.25$ mm. Vasteiden laskennalliset ääriarvot (noin 0.0005 mm) ovat noin 0.13 % viitearvoista (rms-arvo huomioitu).



Kuva 10. Rakennuksen vaakasuuntaiset nopeuskomponentit tarkkailupisteissä laskentajaksolla (0.5 s). Viitearvona (suurin sallittava) voidaan pitää enimmillään arvoa $v = 0.3$ mm/s. Vasteiden laskennalliset ääriarvot (noin 0.17 mm/s) ovat noin 34 % viitearvoista (rms-arvo huomioitu).



Kuva 11. Rakennuksen vaakasuuntaiset kihtyvyys-komponentit tarkkailupisteissä laskentajaksolla (0.5 s). Viitearvona (suurin sallittava) voidaan pitää enimmillään arvoa $a = 0.25$ g (= 2.5 m/s²). Vasteiden laskennalliset ääriarvot (noin 0.0125 m/s²) ovat noin 0.3 % viitearvoista (rms-arvo huomioitu).

6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMIÄ

Tässä tarkastelussa on arvioitu tehtävämäärittelyn mukaisesti ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa ja vaimentumista radan läheisyydessä. Tarkastelussa nähdään myös vasteiden suuruus suhteessa sallittuihin arvoihin. Tässä yhteydessä on tutkittu pysty- ja vaakasuuntaista värähtelyä, vaikka pystysuuntainen on ensisijainen vertailusuure mm. VTT:n /1/ ohjeissa.

Nopeuskomponenttien (pystysuunta) vastearvion perusarvona voidaan pitää $v = 0.3$ mm/s (ns. tehollinen rms-arvo). Tämä antaa käsityksen siitä, mille etäisyydelle voidaan toteuttaa

asuinkäyttöön tarkoitettavaa rakennuskantaa. Yleisten julkisten tilojen suhteen voidaan soveltaa arvoa $v = 0.6 \text{ mm/s}$. Raja-arvoina siirtymille voidaan pitää $y = 0.25 \text{ mm}$ ja kiihtyvyyksille $a = 0.25 \text{ g}$. On kuitenkin huomioitava, että lovipyöräheräte on ongelma, joka tuottaa joissakin tapauksissa 5...10 kertaisen impulssin normikalustoon nähden. Tässä tehtyjen laskentojen suhteen tulee todeta, että vasteet ovat huippuarvoja ja yleisesti käytetty (vrt. taulukko 1) hyväksyttävä taso on noin 60 % huippuarvoista. Vasteissa on luonnollista aaltoilua ja näin ollen myös saattaa yksittäinen värähtelyarvo olla suurempi, kuin initiaalivaste.

Kuvista 4 ... 11 ilmenee laskennallisten vasteiden yleinen taso. Voidaan havaita, että vasteet – joita tässä tarkastellaan siirtymä-, heilahdus- ja kiihtyvyyssiikkeen komponenttien kautta – ovat viitearvojen alapuolella. On kuitenkin syytä suorittaa tarkempi arviointi, kun rakennusten massoittelu ja rakenteiden suunnittelu on edennyt tarkempaan tasoon.

Saunatien kohteen rakennus tulee olemaan paaluille perustettu ja erityisesti pystykomponentit ovat hallinnassa tätä kautta. Edelleen voidaan todeta, että rakennuskorkeus on siinä määrin pieni, että myöskään vaakasuuntaiset värähtelyt eivät muodostu ongelmaksi. Esitetty arvio on tärkeä tunnistaa, mikäli rakennuksessa tulee olemaan herkkiä laitteistoja (tietokoneet, palvelimet). Laitteistoyksiköiden laadun tarkentuessa on syytä tarkastaa niiden erityisvaatimukset, koska raportin taulukossa 1 esitetyt viitearvot eivät koske tällaisia normaalirakennuskannasta poikkeavia yksiköitä.

Arviointiin liittyviä epävarmuustekijöitä ovat vajavaiset tiedot rakennukseen tulevista yksityiskohdista, kuten painavat erityislaitteet jne. Näillä voi olla vaikutusta rakennuksessa koettavaan värinään. Värinän vaikutuksia arvioitaessa mallinnuksen avulla voi olla perusteltua hieman ylikorostaa yksittäisiä vaikutteita johtuen epävarmuustekijöistä. Jännemitoiltaan pitkät ja joustavat lattiarakenteet voivat pitkien junien vaikutuksesta resonoidessaan aiheuttaa merkittävää värinäefektiä rakennuksessa.

Mauri Koskinen

Mauri Koskinen, Tkt
WSP Finland Oy

7 TIIVISTELMÄ

Tarkastelussa on arvioitu laskennallisesti raideliikenteen aiheuttaman värähtelyn etenemistä, vaimentumista ja ihmisen tärinänä tunteman värähtelyn tasoa. Laskettuja värähtelytasoja on verrattu tärinälle annettuihin suositusarvoihin.

- Laskennallisten värähtelyvasteiden perusteella on havaittavissa, että kohteessa esiintyvät tärinän vasteet eivät ylitä asumisviihtyisyydelle asetettuja suosituksia.
- Pystysuuntainen värähtely voidaan vaimentaa perusratkaisujen avulla ja vaakasuuntainen värähtely rakenteellisten ratkaisujen avulla.
- Kohteen rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon jännemitoiltaan pitkiin joustaviin lattiarakenteisiin liittyvä tärinäriski.
- Jatkosuunnittelussa tulee tarkastella rakenteellisia keinoja tärinän vaimentamiseksi asuinkohteissa. Vaimennusten tavoitteena on saada asuinhuoneistoihin kohdistuvat tärinätasot suositusten mukaiselle tasolle (0,3 mm/s).
- Tarkastelussa ei ole otettu huomioon rakennuksiin mahdollisesti sijoitettavia teknisiä laitteita ja niiden suojaamista tärinältä. Jatkosuunnittelussa tulee suunnitella tärinän vaimentamista tarkemmin, jotta tärinä ei aiheuttaisi häiriöitä teknisille laitteille.

KIRJALLISUUTTA

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