

TILAAJAT: TALLBERG KIINTEISTÖT, ALGOL, SPONDA, SAMPO

RAITIOVAUNULIIKENTEEN TÄRINÄVAIKUTUKSET RAKENNUKSEEN

ESPOON KERAN ALUE

3.7.2019



PROJEKTI 312270

Kuva: Rakennusalue

Sisällysluettelo

1.	Yleistä	3
2.	Lähtötietoja.....	4
3.	Kiskoliikenteen tärinät.....	5
4.	Suunnittelun alueen kuvaus.....	6
5.	Numeerinen analyysi	7
6.	Yhteenveto ja johtopäätökset	12
	Kirjallisuutta.....	13

1. Yleistä

Työn tavoitteena on arvioida ratikkaliikenteen värinävaikutuksia Espoon Keran alueella uuteen rakennuskantaan. Hankkeessa on mukana 4 eri tilaajatahoa. Näiden alueellinen hallintajako ilmenee kuvasta 1.

Hyvänä käytäntönä kaavaselostuksissa on perusteltua ottaa huomioon seuraavaa: *Värähtelymittausten perusteella rakentamisen kannalta huomioitava värinäalue 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.* Tässä selvityksessä tarkastellaan vain värinävaikutuksia ja vain kohteen radan puolisella alueella.

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

A4 Sponda
A1 ja A6 Sampo Kiinteistöt
A3, A8, A9 Algol
F5 ja F6 Julius Tallberg



Kuva 1. Tilaajatahojen alueellinen hallintajako.

2. Lähtötietoja

Liikenneperäisen värähtelyn ohjearvot perustuvat mitatun värähtelyn heilahdusnopeuden v taajuuspainotetun tehollisarvon perusteella tilastollisesti määritettyyn tunnuslukuun $v_{w,95}$ [mm/s]. Suositus asuinrakennusten ja niitä vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksista (VTT Tiedotteita 2278, 2004) on esitetty taulukossa 1. Luokitus perustuu ihmisen kokeman värähtelyn häiritsevyyteen. Kun kyseessä on muu kuin asumistarkoitus, tavoitearvo voi olla kaksinkertainen.

Taulukko 1. Suositus asuinrakennusten ja vastaavien asuintilojen värähtelyluokituksista (VTT 2006).

Värähtely-luokka	Kuvaus olosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyä.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. <i>Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyä häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyä 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 (VTT 2001).

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

Värähtelyn tuottamaa haittaa asumismukavuudelle maankäytön suunnittelussa arvioidaan tunnusluvun perusteella. Tämä perustuu yksittäisten liikennetapahtumien suurimpiin

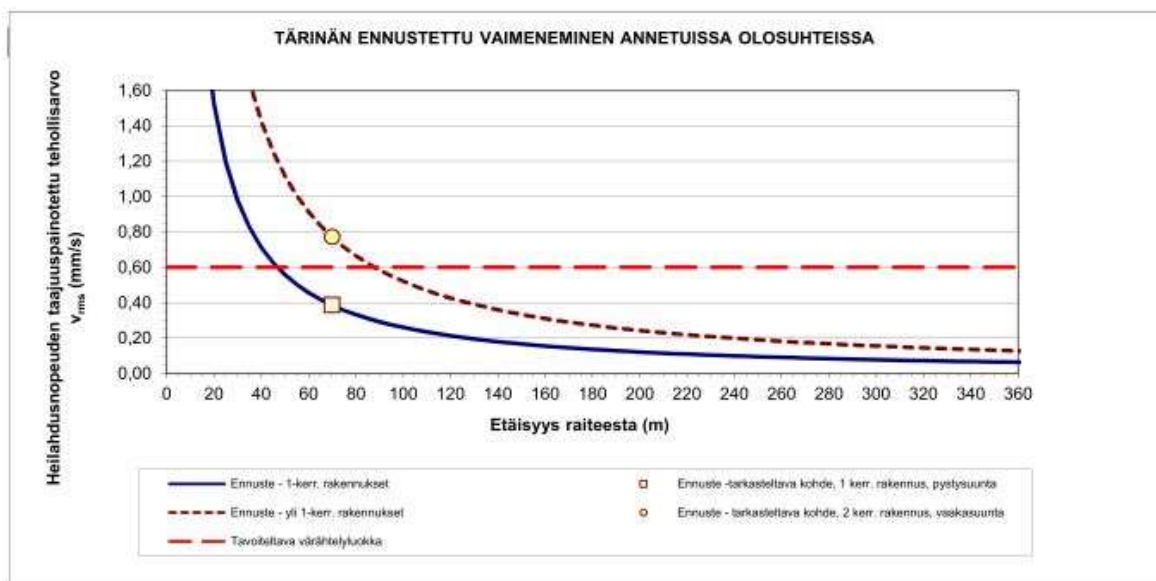
värähtelyn tehollisarvoihin ja näiden perusteella laskettuun keskiarvoon sekä hajontaan siten, että $v_{rms}'95$ on viidentoista suurimman yksittäisen tapahtuman keskiarvo lisättynä 1.8 kertaa viidentoista suurimman yksittäisen tapahtuman hajonta.

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 länä. Kuitenkin paikallisesti kaltevat tiiviit karkearakeiset kerrokset ja erityisesti kallio saattaa nostaa heijastusten kautta tärinän vastetta.

Ominaistaajuudet ja –muodot määritetään dynaamisissa analyyseissä rakenteellisen systeemin resonanssitilanteen selvittämiseksi. Resonanssitilanteessa systeemi menettää rakenteellisen toimintakykynsä. Useimmiten kuitenkin junaliikenteen tuottama resonanssitilanne vaatii pitkähkön raskaan kaluston muodostaman syklistarjan (10...15 toistuvaa harmonista herätettä). Voidaan havaita, että epäedullisimmat tilanteet muodostuvat korkealla rakennuksella vaakasuuntaisiin värähtelyihin. Useimmissa rakennesysteemeissä riittää 10 alimman ominaistaajuuden määrittäminen. Tavoitteena on, että radan liikenne ei muodosta riittävän pitkää ja energialtaan korkeata herätettä näiden ominaismuotojen heräämiseksi ja tämä saattaa vaatia suojaustoimenpiteitä.

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/ esittää tällaisten ennustekäyrien arviointiperiaatetta.



Kuva 1. Esimerkki tärinän leviämisestä tärinälähteestä ympäristöön.

4. Suunnittelun alueen kuvaus

Alue sijaitsee Espoossa Keran alueella (kuva 2). Maanpinta vaihtelee leikkausten kohdilla välillä +25 ...+27. Tallberg Kiinteistöjen hallinnoima alue rajoittuu Karapellontiehen (johon sijoitetaan ratikkalinjaus) ja Algol Oy:n hallinnoima alue päärataan. Alueella on ikääntyvää rakennuskantaa (kuva 2).

Tontilla maanpinnassa on nykyisen rakennuksen alueen rakennekerroksia. Kalliota ei esiinnyt paljastuneena. Tontin alueella pinnassa olevan täyterakennuksen alla on pääosin savea ja silttiä usean metrin paksuinen kerros. Saven alla on kalliota peittävä ohuehko tiiviimpi kerros. Paino- ja puristin-heijarikairaukset ovat päättyneet kiviin, kallioon tai tiiviiseen maakerrokseen. Kallion pinta on alimmillaan noin tasolla +13.



Kuva 2. Espoon Kera-hankkeen nykyinen alue (karttaote Google Maps).

Kaduilla on vilkasta kaksisuuntaista auto-, bussi-, kuorma-autoliikennettä. Nopeusrajoitus on 60 km/h. Ajouradan kunto on hyvä. Nykyisen Karapellontien väliin tulee ratikkaliikennettä välittävä raide.

Rakennus on sijoitettu (kuvat 4 ja 5) lähimmillään noin 13 m etäisyydelle (Tallberg) ja 29 m etäisyydelle (Algol) raiteen keskilinjasta.

5. Numeerinen analyysi

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.

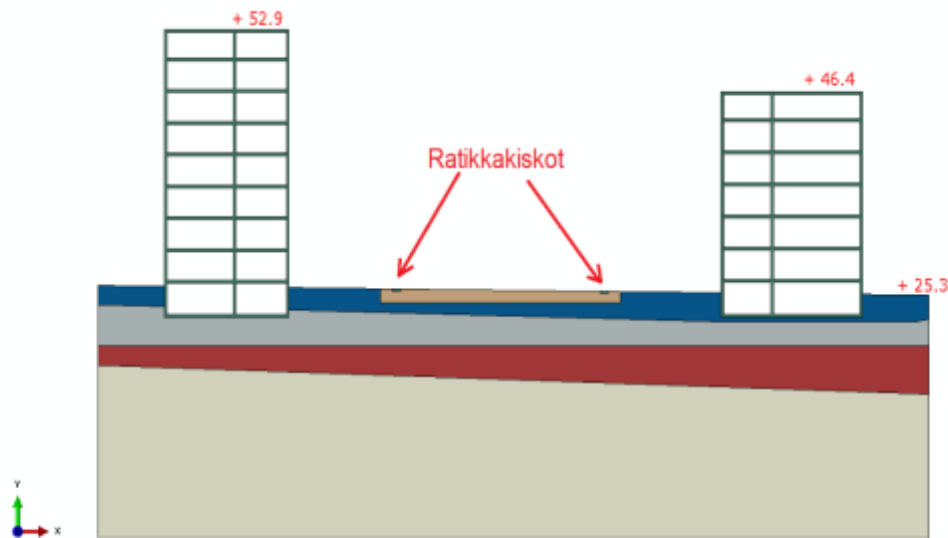
Pohjasuhteet arviointiin on valittu saatavissa olleiden maaperätietojen perusteella. Tarkastelussa on käsitelty kohdittain paikalliset pohjasuhteet ja empiirisen, kirjallisen sekä laskennallisen tiedon pohjalta arvioitu vastaavassa kohdassa esiintyvä värähtelyn eteneminen.

Laskennan mallipoikkileikkaukset (kuvat 4 ja 5) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid –tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF –luku on 2 kpl solmua kohden (translaatiovapausasteet). Mallin koko oli DOF = 61200. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Laskentamallin mittoja on kuvissa 4 ja 5.

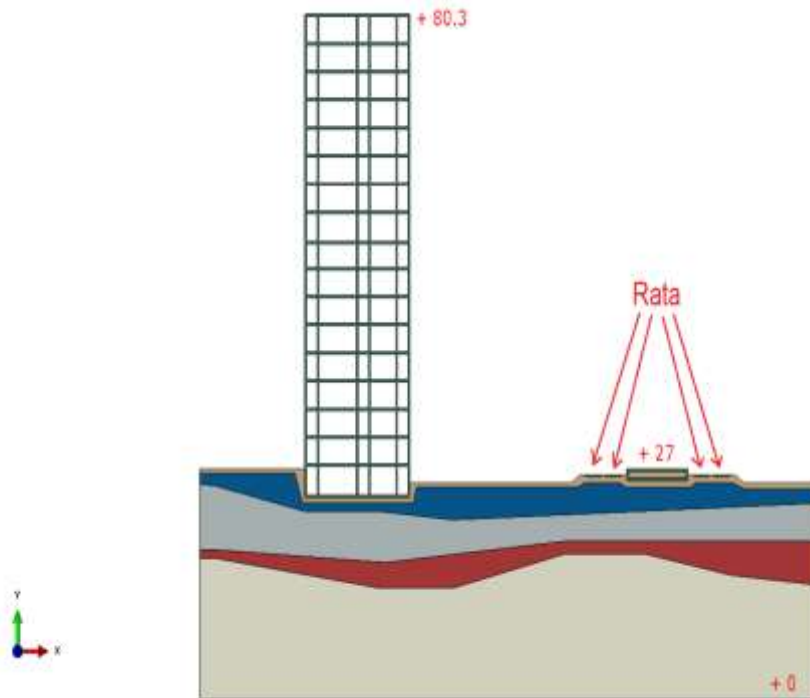


Kuva 3. Tarkasteltavat leikkaukset laskentaa varten.

Mallinnetun talon runkojäykkyydet on yksinkertaistettu kuvien 4 ja 5 mukaiseksi. Rakenteet ovat betonia. Jäykistys oletetaan tapahtuvan hissikuilun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus perustetaan tukipaaluilla kallion varaan. Mallin tukipaaluperustus on toteutettu muodostamalla elementtaariset sidosyhtälöt rakennuksen alapinnan (vastaavien kohtien) ja alimman maakerroksen (kallio) virtuaalituen välille.



Kuva 4. Laskentamalli (2D), leikkaus 1 – 1 (Tallberg Kiinteistöt), mallin leveys 100 m, vasemman puolen korkeampi rakennus on käsitelty tässä yhteydessä.



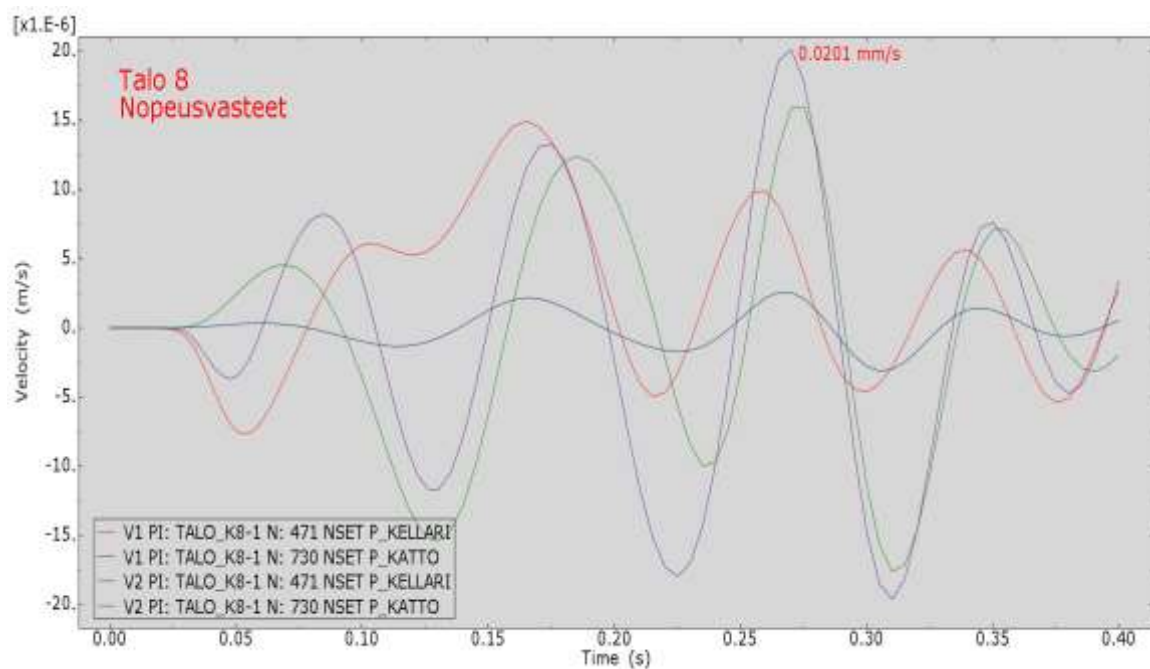
Kuva 5. Laskentamalli (2D), leikkaus 2 – 2 (Algol Oy), mallin leveys 100 m.

Analyysissä on parametreina käytetty muodonmuutosmoduulia E , suppeumalukua ν sekä materiaalihiheyttä 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.

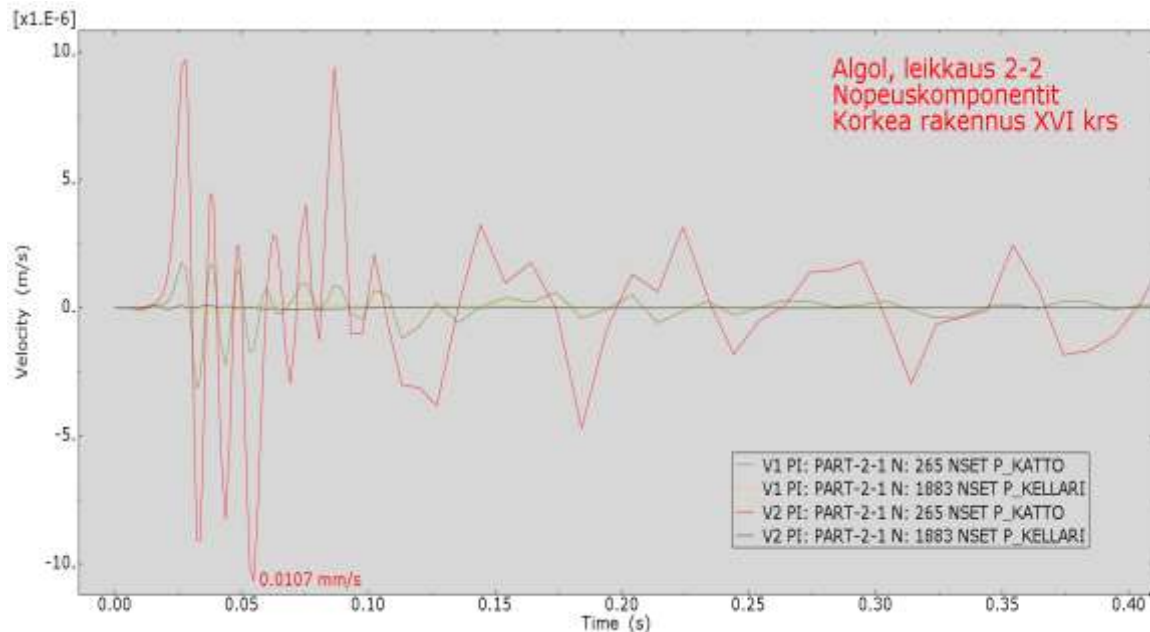
Lujuusparametreja (myötöehto) ei ole määritetty dynaamisessa analyysissä pienten muodonmuutostasojen vuoksi. Laskentaohjelman käyttämät aallonnopeudet tulevat määritetyiksi ohjelmassa elastisten moduulien ja massatiheyksien perusteella (esim. $v_p = (\frac{E}{\rho})^{1/2}$).

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

Dynaamisessa analyysissä kytkettiin rakenteen kiskoja kuvaaviin solmuihin arvioidun värinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennoissa käytetty kuorman amplitudi saatiin empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon akselipaino ja lovipyöräefektin hallitseva osuus. Koko laskennan ajaksi valittiin 0.25 s.

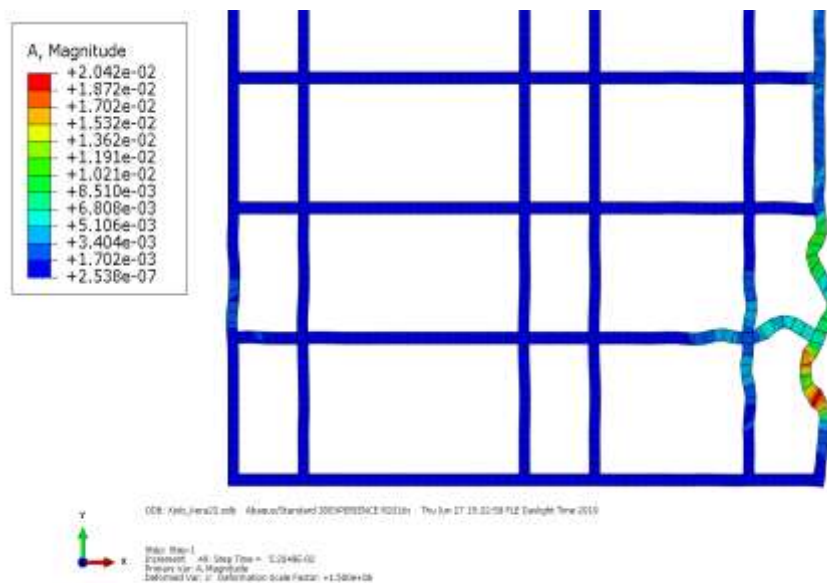


Kuva 6. Rakennuksen pysty- ja vaakasuuntaiset nopeuskomponentit laskentajaksolla (0.4 s), leikkaus 1-1 (Tallberg Kiinteistöt).



Kuva 7. Rakennuksen pysty- ja vaakasuuntaiset nopeuskomponentit laskentajaksolla (0.4 s), leikkaus 2-2 (Algol Oy).

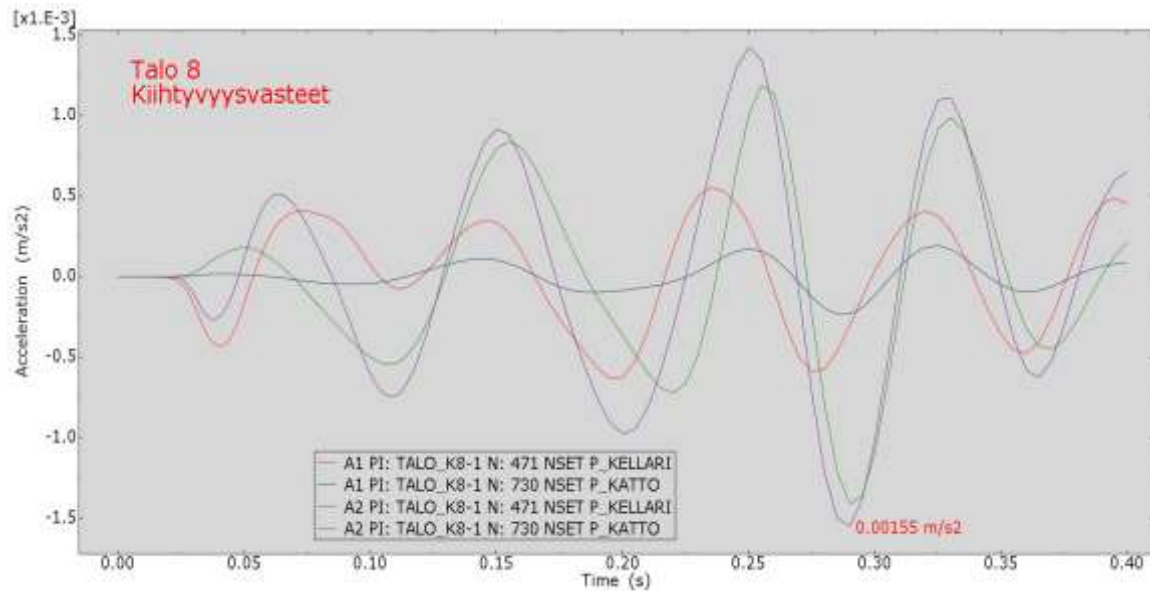
Kuva 8 esittää impulssin etenemää mallissa ajanhetkellä $t = 0.05$ s. Voidaan havaita, että rakennuksen tukipisteet (paaluperustus) pysyvät paikoillaan. Kiihtyvyyden raja-arvot (tehollinen rms-arvo) eivät ylitä VTT:n suositusten mukaan.



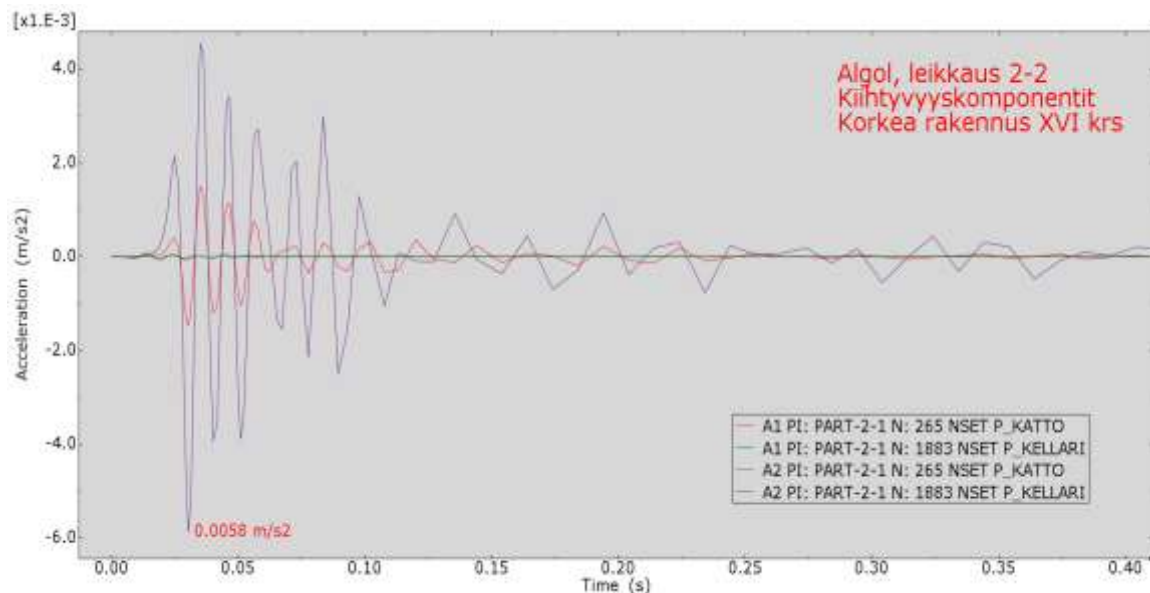
Kuva 8. Esimerkki impulssin (resultoiva kiihtyvyys) etenemästä (korostettu) tietyllä ajanhetkellä $t = 0.05$ s (Algol Oy).

Kuvista 9 ja 10 ilmenee mallien rakennusten kiihtyvyysskomponenttien kehittyminen laskentajaksolla 0.4 s. Komponentit ovat myös pienehköjä johtuen pääosin suunnitellusta

perustamistavasta (kallioon ulottuvat tukipaalut). Rakennuskorkeuden kasvaessa vaakasuuntaiset värähtelyt ovat hallitsevia, mutta tässä tapauksessa eivät vielä ylitä asetettuja viitearvoja.



Kuva 9. Rakennuksen pysty- ja vaakasuuntaiset kiihtyvyydet laskentajaksolla (0.4 s), leikkaus 1-1 (Tallberg Kiinteistöt).



Kuva 10. Rakennuksen pysty- ja vaakasuuntaiset kiihtyvyydet laskentajaksolla (0.4 s), leikkaus 2-2 (Algol Oy).

Taulukko 3 esittää koosteen edellä havaituista vasteista. Tällaisissa tapauksissa lähinnä kriittisin on nopeusvaste, jota primaarisesti verrataan VTT:n esittämiin viitearvoihin.

Suurimmat arvioidut heilahdusliikkeen nopeusvasteet ovat 0.0201 mm/s, mikä on noin 7 % (Tallberg) ja 0.0107 mm/s, mikä on noin 4 % (Algol) viitearvon sallitusta rajasta.

Taulukko 3. Havaittujen vasteiden kooste (ei rms-painotettu).

Kera	Tallberg		Algol	
	v (mm/s)	a (m/s ²)	v (mm/s)	a (m/s ²)
max	0,0201	0,00155	0,0107	0,0058
viitearvo	0,3	2,5	0,3	2,5

Tarkastelupisteen sijainnin suhteen voidaan nopeuksien pystykomponenttien kuvaajista havaita, että ne pienenevät luonnollisesti etäisyyden kasvaessa kuormituspisteestä. Rakennuksen kohdalla pystykomponentit, joista sovelletaan ns. tehollisarvoa (noin 50...60 % tässä lasketuista enimmäisarvoista), ovat riittävän pieniä luokituksen saamiseksi luokkaan C. Nopeudet ovat suurimmillaan kuormituspisteessä, jossa pystykomponentit ovat luonnollisesti hallitsevia. Inertiavaikutuksista ja heijasteista johtuen havaitaan myös maamassan aaltoilua. Kauempana herätekohdasta havaitaan yleensä vaakasuuntaisten komponenttien suhteellisen osuuden selkeää kasvua.

6. Yhteenveto ja johtopäätökset

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 primaarisesti tutkittu pystysuuntaista värähtelyä, koska tämä on ensisijainen vertailusuure mm. VTT:n ohjeissa. Tarkastelussa voidaan havaita, että arvioidut vasteet ovat selkeästi alle viitearvojen.

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

Kuvista 6 ... 10 ilmenee laskennallisten vasteiden yleinen taso. Voidaan havaita, että vasteet – joita tässä tarkastellaan heilahdusliikkeen komponenttien kautta – ovat varsin kohtuulliset ja siten viitearvojen alapuolella. 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, koska rakennuksessa tulee olemaan herkkiä laitteistoja. 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 tärinään. Tärinän 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 tärinäefektiä rakennuksessa.

Helsinki 3.7.2019

WSP Finland Oy

Mauri Koskinen

Mauri Koskinen
Tkt
Pohjarakennus

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.