

28.9.2022

Teivo - Mäkkylä Tampere, värähtelytarkastelu



Rataliikenteen aiheuttamien tärinävaikutusten arviointi rakennuksiin

Sisällysluettelo

1.	Johdanto.....	2
2.	Arvioinnin menetelmät ja lähtöaineisto	2
3.	Arvioidut tärinän vasteet	6
4.	Johtopäätökset	7
5.	Kirjallisuutta	7

28.9.2022

1. Johdanto

Rataliikenteen aiheuttamia tärinätasoja on arvioitu yhteen poikkileikkaukseen numeerista 2D FEM laskentaa käyttäen. Poikkileikkausten laskennallinen tarkastelu on tehty suunnittelutilanteessa, jossa rakennusten massoittelu on pääosin selvillä. Tarkastelualueita on kaksi, Ylöjärvi Mäkkylän peltoalue ja Teivon alue.

Alueelle laadittava tärinäselvitys on laadittu seuraavasti:

- poikkileikkaustarkastelut on tehty kuvan 1 kohtaan
- näiden katsotaan edustavan tarkasteltavaa aluetta kokonaisuudessaan

Tässä arviointiraportissa esitetään laaditun poikkileikkaustarkastelun tulokset ja johtopäätökset sen osalta. Laskennallisessa tarkastelussa on otettu huomioon junaliikenteen raidekohtaiset tiedot sekä radan ja tarkastelualueen välinen etäisyys sekä maaperäolosuhteet.

2. Arvioinnin menetelmät ja lähtöaineistot

2.1. Tärinän ohjearvot

VTT:n julkaisussa (Talja ja Törnqvist 2006) on esitetty suositus rakennusten värähtelyluokituksista, jota käytetään yleisesti ohjearvona maankäytön suunnittelussa. Suosituksissa uusille rakennuksille ja väylille on annettu matalampi suositusarvo kuin vanhoille asuinalueille (taulukko 1). Taulukossa esitetty luokitus perustuu ihmisen kokemuksen tärinän häiritsevyyteen. Kun kyseessä on muu kuin asumistarkoitus, tavoiteraja voi olla kaksinkertainen.

Julkaisussa esitetyt tärinän ohjearvot perustuvat tärinän heilahdusnopeuden maksimiarvojen perusteella tilastollisesti määritettyyn taajuuspainotettuun tunnuslukuun $v_{w,95}$ [mm/s] (taulukko 1).

Taulukko 1. Suositus rakennusten värähtelyluokituksista (Talja ja Törnqvist 2006).

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

28.9.2022

Tärinän mahdollisesti aiheuttamien rakenteellisten vaurioiden arviointiin sovelletaan eri vertailuarvoja kuin asumisviihtyisyyden kohdistuvien haittojen arviointiin. Rakennusten perustusten vaurioalttiutta kuvataan taulukon 2 mukaisella luokituksella. Esitettyjä raja-arvoja pienempien värähtelytasojen ei katsota aiheuttavan rakennuksen käyttöarvoa pienentäviä vaurioita.

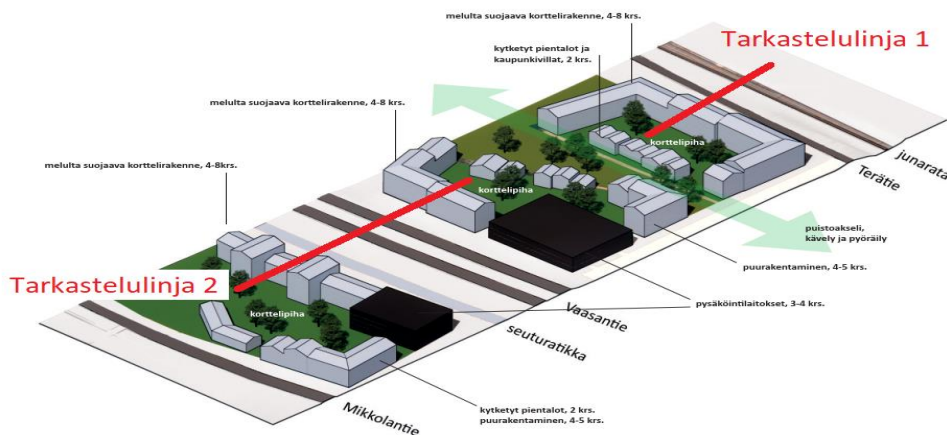
Taulukko 2. Rakennusten perustusten vaurioalttiuden rajaamisessa käytettävät kriteerit (VTT 2001).

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

2.2. Tärinälaskennan tarkastelupoikkileikkaukset

Tärinälaskentaan on valittu kuvan 1 poikkileikkauksen tarkastelulinja 1. Sijainti on tarkemmin esitetty kuvassa 2. Poikkileikkauksen kohdalla alueen maakerrokset ovat kuvan 3 mukaiset.

Kortteliperiaate (VE1 & VE2)



ARKKITEHDIT MY

Kuva 1. Tärinälaskennan leikkauksen periaatteellinen sijainti (punainen viiva).

28.9.2022



Kuva 2. Tärinälaskennan leikkauksen sijainti, Ylöjärven Mäkkylän peltoalue (punainen viiva).

2.3. Tärinän laskennallinen arviointi

Suunnittelualueeseen kohdistuvaa tärinää on tarkasteltu FEM-laskennan tulosten perusteella. Laskennallisessa tarkastelussa tärinän herätteen (lähtötaso) värähtelytaso on arvioitu raiteilla liikennöivän vaunun akselipainon ja nopeuden perusteella.

Värähtelyn etenemisen laskennassa on otettu huomioon alueen maaperäolosuhteet, rakennusten perustamistapa, mallinnetun rakennuksen ominaisuudet ja tarkasteltavan pisteen korkeusasema (kerros) suunnitellussa rakennuksessa. Laskennassa on huomioitu kaluston ns. lovipyöräheräte, joka voi aiheuttaa normaalia voimakkaampia tärinän lähtötasoja, jolloin niiden vaikutus voi olla 5...10-kertainen normaalin kaluston aiheuttamaan heränteeseen verrattuna.

Pohjasuhteiden arvioinnissa on käytetty alueen maaperätietojen perusteella muodostettua geoteknistä poikkileikkausta. Maaperätiedot ilmenevät kuvasta 3.

Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia "pakkovärähtelyanalyysinä". Mallissa materiaalikäyttäytyminen on lineaarista ilman myötöehtoa. Laskentaelementin koko valittu

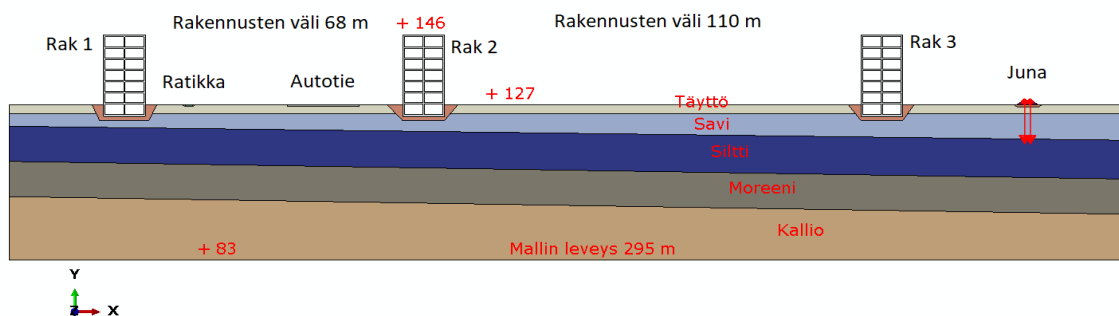
28.9.2022

siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa tärinän aallonpituutta. Tärinän vasteita on havainnointu rakennuksen eri kerroksissa.

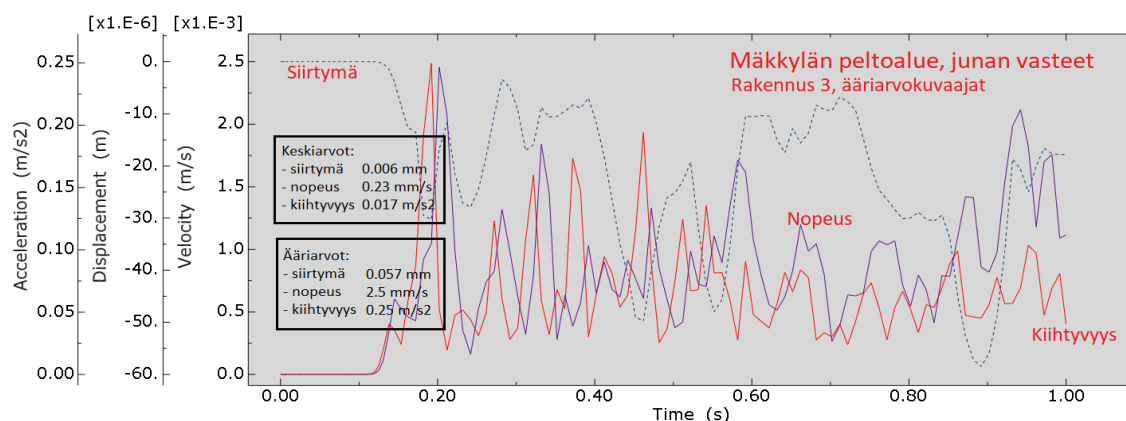
Dynaamisessa analyysissä raitiotien kiskoja kuvaaviin solmuihin kytkettiin arvioidun tärinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennassa käytetyn kuorman amplitudi on saatu empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon nopeus ja akselipaino. Laskennan aikajaksoksi valittiin 1 s, koska vasteen suppeneminen on tällöin jo havaittavissa. **Nopeutena käytettiin 80 km/h ja akselipainoa 21 tonnia.**

Laskennan mallipoikkileikkaus (yksinkertaistettu runkojäykkyys) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid -tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF -luku on 2 kpl solmua kohden (translaati vapausasteet). Mallin koko oli DOF = 119500. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. **Rakennusten jäykistyksen oletetaan tapahtuvan hissikulun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennukset perustetaan paaluille. Rakennusrunko on mallinnettu ekvivalenttisena (tiiliverhous huomioiden) betonimateriaalina. Rakennusrunkoihin on oletettu tehtäväksi kellarikerros.**

Kuvassa 4 on esitetty laskennan mukaiset dynaamiset nopeusvasteet lähimmän rakennuksen (kuvassa 3 rakennus 3) puolelta. Kuva 5 esittää esimerkkinä rakennuksen värähtelymuotoa ajanhetkellä $t = 0.77$ s.

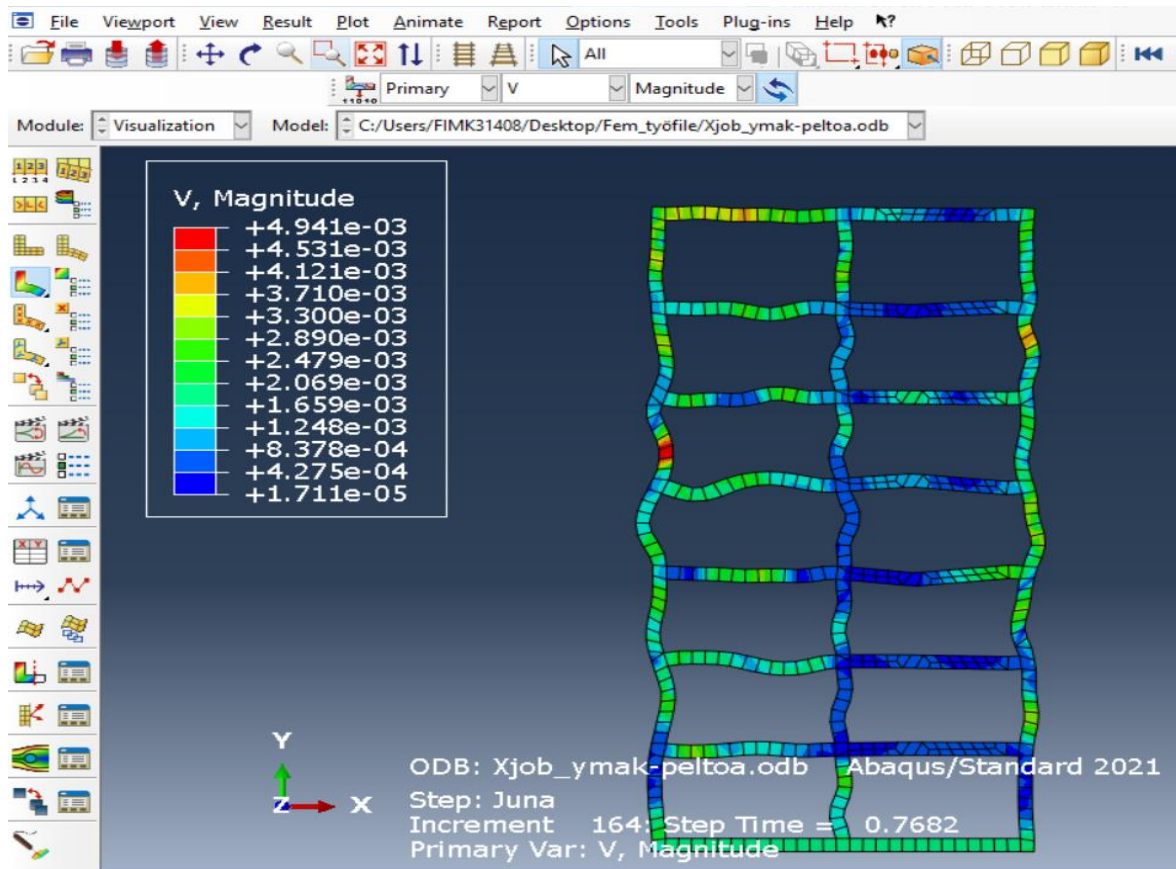


Kuva 3. Laskennan mallipoikkileikkaus, Ylöjärven Mäkkylän peltoalue, kuorma junaradalla.



Kuva 4. Dynaamiset vasteet, rakennus 3, vastekäyrästäön huippuarvokuvaajat, Ylöjärven Mäkkylän peltoalue, **junan** vasteet. Tehollinen vertailuarvo ($v_{w,95}$) on puolet laskennallisesta huippuarvosta.

28.9.2022



Kuva 5. Rakennuksen 3 värähtelymuoto ajanhetkellä $t = 0,77$ s (korostettu).

3. Arvioidut tärinän vasteet

Laskennallisen tarkastelun tuloksena on esitetty rakennukseen kohdistuvien värähtelyn vaaka- ja pystysuuntaisten nopeuskomponenttien kehittyminen tarkkailupisteissä, joita on kunkin kerroksen tasalla edustavissa pisteissä. Näiden perusteella voidaan kohteittain todeta seuraavaa:

- Lasketut tulokset (vasteet) edustavat heilahdusnopeuden maksimiarvoja (V_{max}). Ohjearvoon verrannollinen värähtelyn nopeuden vertailuarvo $v_{w,95}$ on noin 50 % värähtelyn maksimiarvosta.
- Rakennuksen lyhin etäisyys tärinää mitoittavaan raiteeseen on noin 33 metriä. Nopeutena on käytetty 80 km/h ja akselipainona 21 tonnia.
- Sallitut vasteiden viitearvot ovat seuraavat /RIL 253-2010/:
 - siirtymävaste 0.2 mm
 - nopeusvaste 0.3 mm/s
 - kiihtyvyydevaste 0.1 g (=1 m/s²)

28.9.2022

- Laskennallisen tarkastelun (Mäkkylän peltoalue) perusteella värähtelyn maksimitasot laskentapisteissä (ks. kuva 4) ovat seuraavat (suluissa suhteellinen osuus sallitusta viitearvosta):
 - siirtymävaste 0.006 mm (3 %)
 - nopeusvaste 0.23 mm/s (76 %)
 - kiihtyvyydvaste 0.017 m/s² (17 %)

4. Johtopäätökset

- Poikkileikkauksiin tehtyjen tärinälaskentojen arvot vaak- ja pystykomponenttien osalta alittavat kohteessa tärinälle suositellun asumista koskevan ohjearvon mukaisen tason. Vaakakomponentit ovat keskimäärin kolmannes pystykomponenteista. Vaurioitumisalttiutta ei myöskään ole (taulukko 2). Teivon alueella pohjasuhteet ovat paremmat ja siten tältä alueelta ei ole laskennan tarvetta.
- Rautatieliikenteen (junaliikenne) aiheuttaman tärinän heilahdusnopeuden (primaarinen indikaattori) arvioidaan olevan kohteessa asuinrakentamiseen tarkoitetun suositusarvon (0,3 mm/s, luokka C, taulukko 1) alapuolella.
- Tuloksien suhteen tulee huomioida, että on sovellettu vasteiden keskiarvoa ääriarvojen sijaan, koska yksittäisillä vastepiikeillä ei ole merkitystä. Lisäksi tulee todeta, että tehollinen vertailuarvo ($v_{w,95}$) on puolet laskennallisesta huippuarvosta.
- Laskennan tulosten suhteen tulee huomioida, että alueellisia pohjanvahvistuksia suunniteltaessa tehtyjen arvioiden mukaan ei tarvitse huomioida rautatieliikenteen tärinän vaikutuksia. Eristysrakenteita tärinälle ei siten myöskään tarvitse suunnitella. Tehdyt laskennat ovat koko linjauksen suhteen edustavia poikkileikkauksia.

Mauri Koskinen

Mauri Koskinen, TkT
WSP Finland Oy

Kirjallisuutta

VTT 2001, Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin – vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen. Luonnos 47 s.

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.

RIL 253-2010, Rakentamisen aiheuttamat tärinät. ISSN 0356-9403.