

14.9.2021

Espoon Lasihtyn alueen kunnallistekninen yleissuunnitelma

Juna- ja raitiovaunuliikenteen aiheuttamien tärinävaikutusten arviointi

1. Johdanto

Junaliikenteen aiheuttamia tärinätasoja on arvioitu kolmeen poikkileikkaukseen FEM laskentaa käyttäen. Ensimmäisen poikkileikkauksen laskennallinen tarkastelu on tehty suunnittelutilanteessa, jossa rakennusten massoittelu on ollut alkuvaiheessa.

Suunnittelualueelle laadittavaa tärinäselvitystä on täydennetty seuraavalta osin:

- toinen poikkileikkaustarkastelu on tehty suunnittelualueen itäosaan, junaradan läheisyyteen suunnitellun asuinrakennuksen kohdalle
- raitiovaunuliikenteen aiheuttamasta tärinästä on laadittu yksi poikkileikkaustarkastelu.

Tässä arviointiraportissa esitetään laadittujen poikkileikkaustarkastelujen tulokset ja johtopäätökset sen osalta. Laskennallisessa tarkastelussa on otettu huomioon Helsinki – Kirkkonummi rataosuuden juna- sekä läheisen ratikkaliikenteen raidekohtaiset tiedot (junien ja raitiovaunun tyyppi, nopeus) sekä radan ja tarkastelukohteen välinen etäisyys sekä maaperäolosuhteet.

TKT Mauri Koskinen on tehnyt tärinän laskennallisen arvioinnin. FM Ilkka Niskanen on tarkistanut raportin.

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 kokeman tärinän häiritsevyyteen. Kun kyseessä on muu kuin asumistarkoitus, tavoiteraja voi olla kaksinkertainen.

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

14.9.2021

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

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

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).

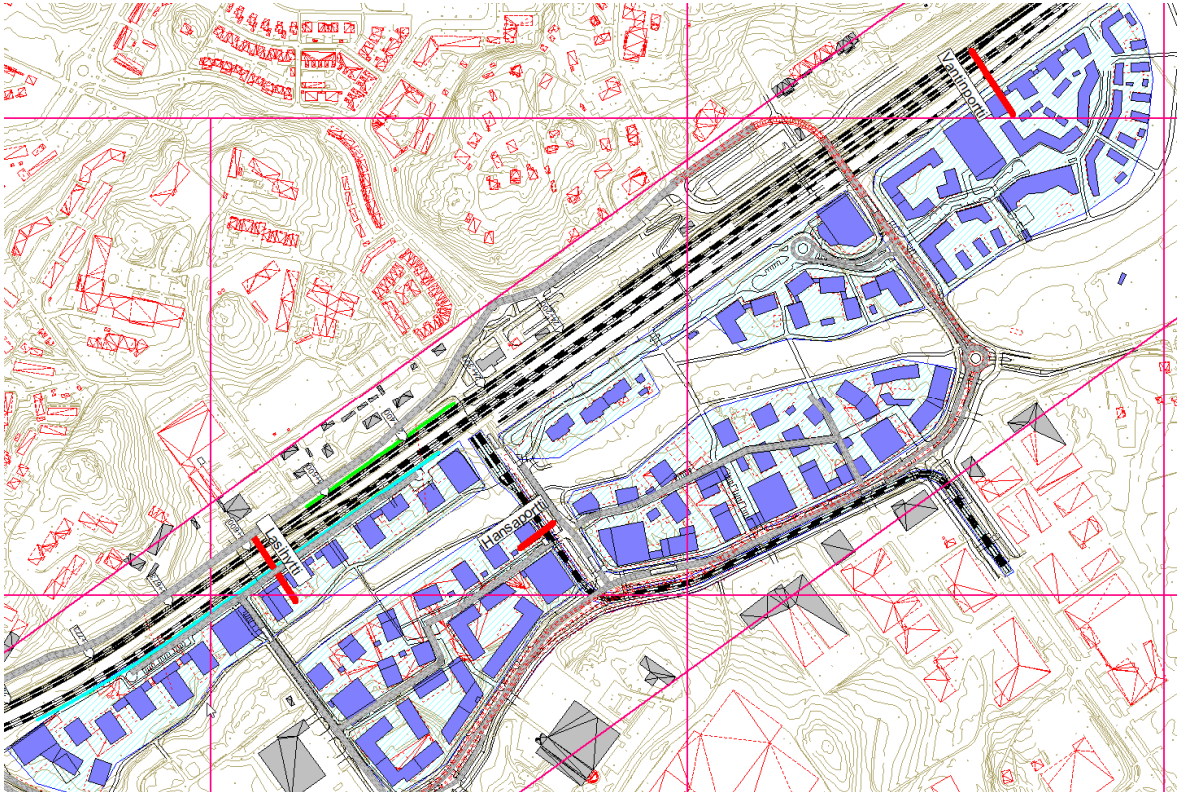
Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	Heilahdusnopeuden huippuarvo V_{max} [mm/s]	Tunnusluku $V_{rms,95}$ [mm/s]
V	Kohonneen tärinäalttiuden alue <i>Rakenteiden vauriot mahdollisia</i>	≥ 3,0	≥ 5,0
H	Vähäisen tärinäalttiuden alue <i>Rakenteiden haitat mahdollisia</i>	≤ 3,0	≤ 5,0
E	Rakenteiden vaurioriski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

2.2. Tärinälaskennan tarkastellut poikkileikkaukset

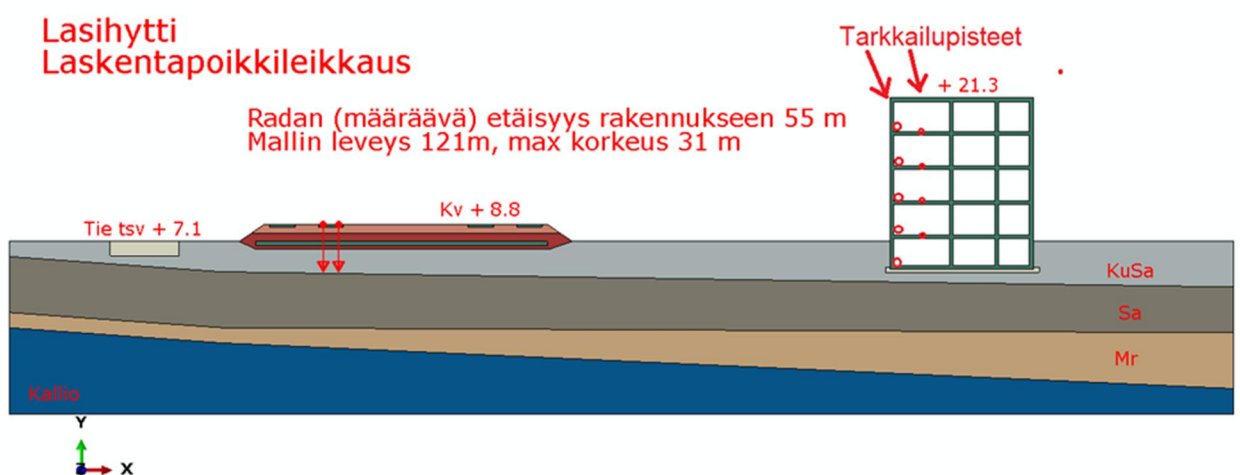
Tärinälaskentaan on valittu kolme pehmeiköä edustavaa poikkileikkausta. Ne sijaitsevat Lasihtin alueella (kuva 1). Poikkileikkauksen "laskentaleikkaus" kohdalla alueen maanpinta on kuivakuorisavea (KuSa), jonka alapuolella on savi (Sa) ja moreenikerrokset (Mr) (kuva 2). Tässä laskennassa mitoitettavan raiteen on arvioitu sijaitsevan 55 metrin

14.9.2021

etäisyydellä laskettavan rakennuksen julkisivusta. Muuta kaksi kohdetta edustavat tyypillistä Sa/HkMr/Kallio – aluetta.

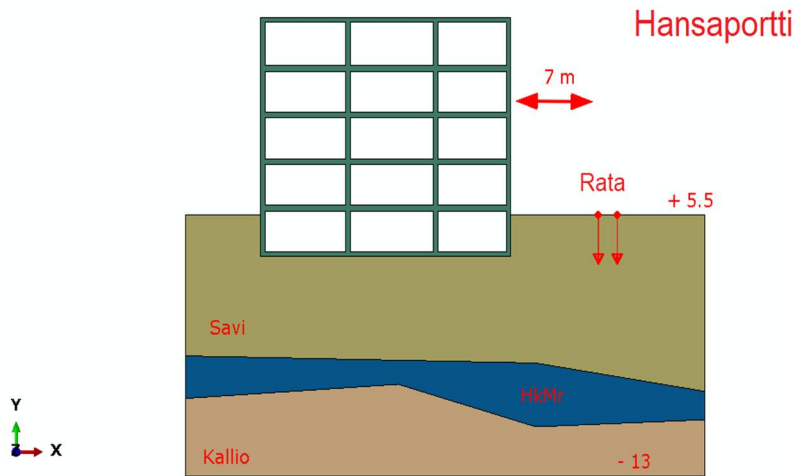


Kuva 1. Tärinälaskennan poikkileikkausten sijainnit.

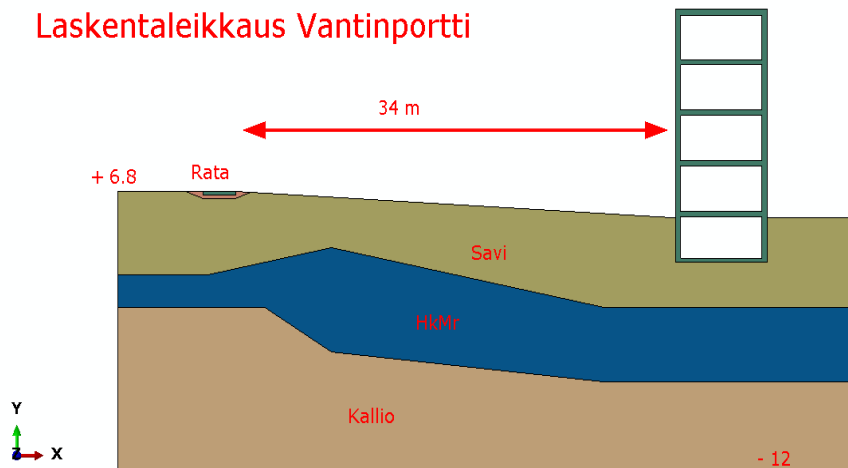


Kuva 2. Laskennan poikkileikkaus, kohde Lasihytti, määrittävä raiteen ja laskettavan kohteen sijainti sekä maaperän kerrokset.

14.9.2021



Kuva 3. Laskennan poikkileikkaus, kohde Hansaportti, määrittävä raiteen ja laskettavan kohteen sijainti sekä maaperän kerrokset.



Kuva 4. Laskennan poikkileikkaus, kohde Vantinportti, määrittävä raiteen ja laskettavan kohteen sijainti sekä maaperän kerrokset.

2.3. Tärinän laskennallinen arviointi

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

Laskennallisen tärinätarkastelun etuna voidaan pitää sitä, että tarkastelussa arvioidaan luonnontilaisessa maaperässä esiintyvää tärinää ilman olemassa olevien rakennusten vaikutusta.

Värähtelyn etenemisen laskennassa on otettu huomioon alueen maaperäolosuhteet, rakennusten perustamistapa, mallinnetun rakennuksen ominaisuudet ja tarkasteltavan pisteen korkeusasema (kerros) suunnitellussa rakennuksessa. Lisäksi tuloksia laskennassa on

14.9.2021

huomioitu junakaluston ns. lovipyöräheräte, joka aiheuttaa normaalia voimakkaampia tärinän lähtötasoja, jolloin niiden vaikutus voi olla 5...10-kertainen normaalin kaluston aiheuttamaan herätteeseen verrattuna.

Pohjasuhteiden arvioinnissa on käytetty alueen maaperätietojen perusteella muodostettua geoteknillistä poikkileikkausta.

Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia ”pakkovärähtelyanalyysijä”. Mallissa materiaalikäyttäytyminen on lineaarista. Laskentaelementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa tärinän aallonpituutta. Tärinän vasteita on havainnointi maanpinnan tasolla yhdessä pisteessä ja rakennuksen eri kerroksissa (kuva 2).

Dynaamisessa analyysissä rautatien kiskoja kuvaaviin solmuihin kytkettiin arvioidun tärinäimpulssin mukainen kuorma-amplitudi. Laskennassa käytetyn kuorman kaksoisharmoninen amplitudi on saatu empiirisen mittaustiedon perusteella, jossa on otettu huomioon akselipaino ja lovipyöräefektin hallitseva osuus. Laskennan aikajaksoksi valittiin 0.3 s ja 1 s kahdessa muussa kohteessa. Junan nopeutena käytettiin 130 km/h ja akselipainoa 20 tonnia ja raitiovaunulle vastaavat arvot 40 km/h / 13 tonnia.

Laskennan mallipoikkileikkaus (yksinkertaistettu runkojäykkyys) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid –tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF –luku on 2 kpl solmua kohden (translaatiovapausasteet). Mallin koot olivat ensimmäisessä leikkauksessa DOF = 24500, Hansaportissa 18530 ja Vantinportissa 25470. Mallien reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Jäykistys oletetaan tapahtuvan hissikulun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus perustetaan kallioon ulottuvilla betoni- tai porapaauluilla. Mallien tukipaaluperustus pehmeiköstä johtuen on toteutettu muodostamalla elementaariset sidosyhtälöt rakennuksen alapinnan (vastaavien kohtien) ja alimman maakerroksen (kallio) virtuaalituen välille (kuvat 2 ... 4).

14.9.2021

3. Arvioidut tärinän heilahdusnopeudet

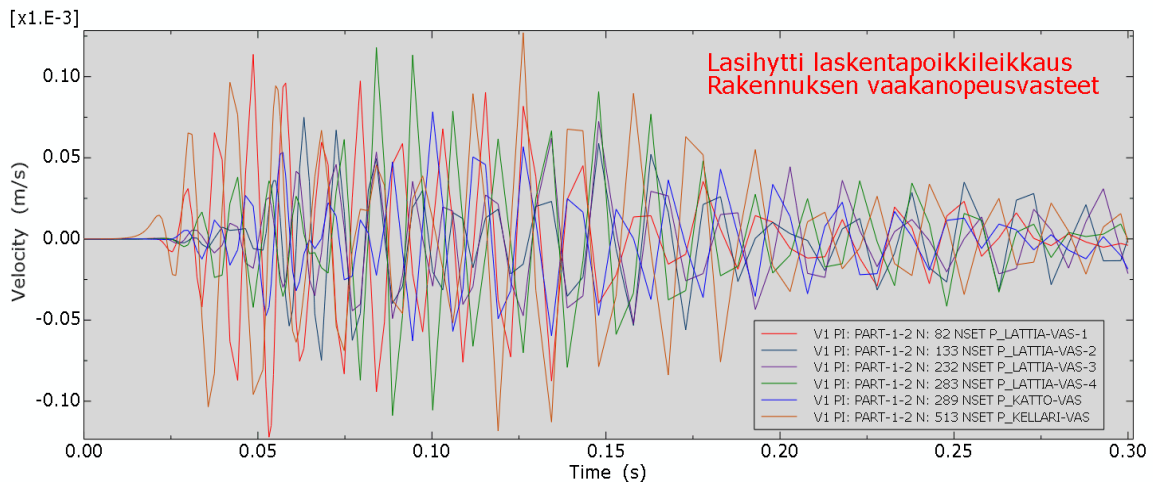
Laskennallisen tarkastelun tuloksena on esitetty rakennukseen kohdistuvien värähtelyn vaakasuuntaisten nopeuskomponenttien (kuva 5) ja pystysuuntaisten komponenttien (kuva 6) kehittyminen tarkkailupisteissä.

Kohde "Lasihytti"

Värähtelylaskennan kuvien 5 ja 6 tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava seuraavat seikat:

- lasketut tulokset edustavat heilahdusnopeuden maksimiarvoja (V_{max}). Ohjearvoon verrannollinen värähtelyn nopeuden vertailuarvo $v_{w,95}$ vastaa noin 50 % värähtelyn maksimiarvosta.
- nykyisen suunnitelman (6.5.2021) mukaisen massoittelun lyhin etäisyys tärinää mittaavaan raiteeseen on noin 34 metriä. Laskettu värähtelyarvo voidaan korjata vastaamaan lyhempää etäisyyttä kertomalla laskennan tulos arvolla 1,61.

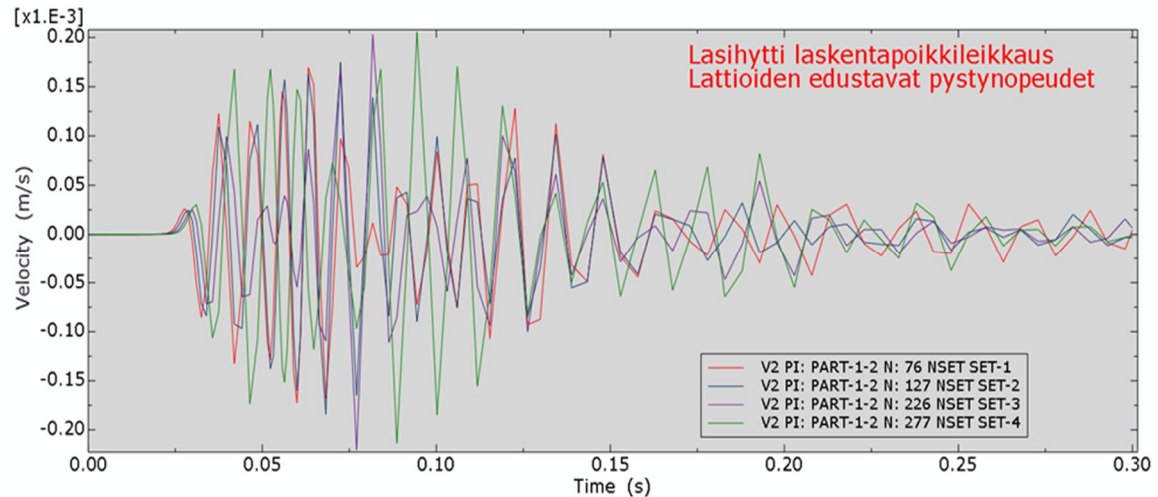
Laskennallisen tarkastelun perusteella vaakasuuntaisen värähtelyn maksimitasot laskentapisteissä ovat suurimmillaan noin 0,12 mm/s (kuva 5). Tarkastelujakson (0,3 s) aikana on nähtävissä värähtelyn vaimentuminen. Suositeltuun ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos ($v_{w,95}$) on 0,06 mm/s.



Kuva 5. Rakennukseen kohdistuvat vaakasuuntaiset nopeuskomponentit rakennuksen seinälinjalla, suurin maksimitaso (v_{max}) on noin 0,12 mm/s. **Ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos on 0,06 mm/s.**

14.9.2021

Pystysuuntaisen värähtelyn maksimitasot (V_{max}) ovat noin 0,2 mm/s. Tarkastelujakson (0,3 s) aikana on nähtävissä värähtelyn vaimentuminen. **Ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos on 0,1 mm/s.**



Kuva 6. Rakennukseen kohdistuvat pystysuuntaiset nopeuskomponentit rakennuksen seinälinjalla, suurin maksimitaso (v_{max}) on noin 0,2 mm/s. Ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos on 0,1 mm/s.

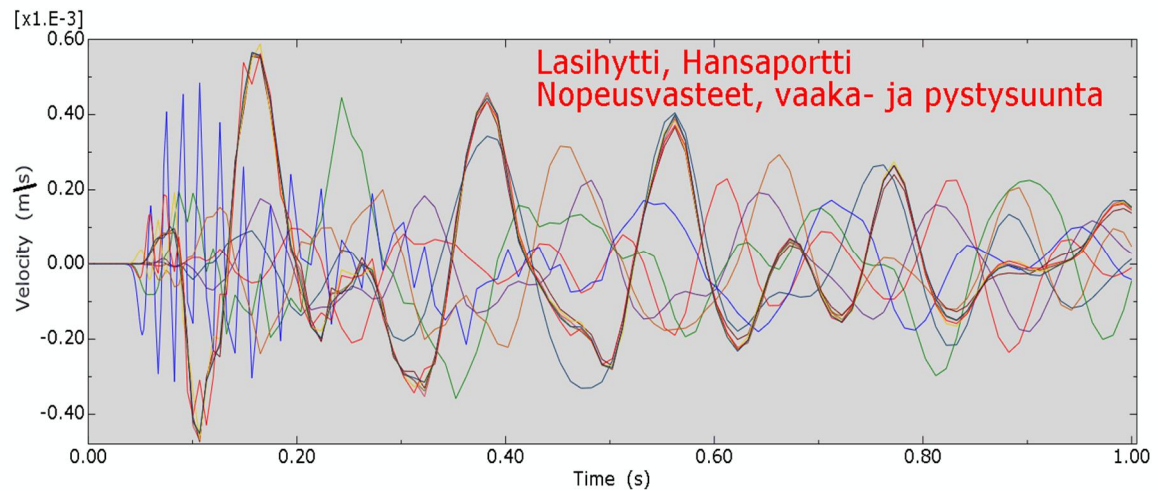
Kohde ”Hansaportti”

Värähtelylaskennan kuvan 7 tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava seuraavat seikat:

- lasketut tulokset edustavat heilahdusnopeuden maksimiarvoja (V_{max}). Ohjearvoon verrannollinen värähtelyn nopeuden vertailuarvo $v_{w,95}$ vastaa noin 50 % värähtelyn maksimiarvosta.
- nykyisen suunnitelman (6.5.2021) mukaisen massoittelun lyhin etäisyys tärinää mittaavaan raitteeseen on noin 7 metriä. Laskettu värähtelyarvo voidaan korjata vastaamaan lyhempää etäisyyttä kertomalla laskennan tulos arvolla 1,61.

Laskennallisen tarkastelun perusteella vaakasuuntaisen värähtelyn maksimitasot laskentapisteissä ovat suurimmillaan noin 0,6 mm/s (kuva 7). Tarkastelujakson (1 s) aikana on nähtävissä värähtelyn vaimentuminen. **Ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos ($v_{w,95}$) on 0,3 mm/s ollen siten vielä raja-arvon tasolla.**

14.9.2021



Kuva 7. Rakennukseen (Hansaportti) kohdistuvat vaaka- ja pystysuuntaiset nopeuskomponentit, suurin maksimitaso (v_{max}) on noin 0,6 mm/s. Ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos on 0,3 mm/s.

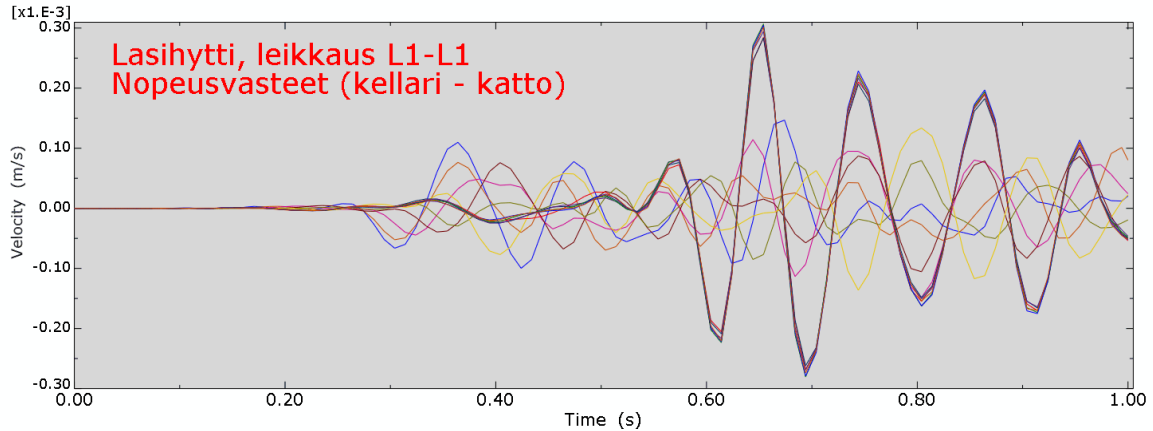
Kohde "Vantinportti"

Värähtelylaskennan kuvan 8 tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava seuraavat seikat:

- lasketut tulokset edustavat heilahdusnopeuden maksimiarvoja (V_{max}). Ohjearvoon verrannollinen värähtelyn nopeuden vertailuarvo $v_{w,95}$ vastaa noin 50 % värähtelyn maksimiarvosta.
- nykyisen suunnitelman (6.5.2021) mukaisen massoittelun lyhin etäisyys tärinää mittaavaan raiteeseen on noin 34 metriä. Laskettu värähtelyarvo voidaan korjata vastaamaan lyhempää etäisyyttä kertomalla laskennan tulos arvolla 1,61.

Laskennallisen tarkastelun perusteella vaakasuuntaisen värähtelyn maksimitasot laskentapisteissä ovat suurimmillaan noin 0,3 mm/s (kuva 3). Tarkastelujakson (1 s) aikana on nähtävissä värähtelyn vaimentuminen. **Ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos ($v_{w,95}$) on 0,15 mm/s.**

14.9.2021



Kuva 8. Rakennukseen (Vantinportti) kohdistuvat vaaka- ja pystysuuntaiset nopeuskomponentit rakennuksen eri korkeuksilla, suurin maksimitaso (v_{max}) on noin 0,31 mm/s. Ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos on 0,15 mm/s.

4. Johtopäätökset

- Poikkileikkauksiin tehtyjen tärinälaskentojen tulokset (vaaka- ja pystysuuntainen) alittavat kohteissa Lasihytti ja Vantinportti tärinälle suositellun ohjearvon mukaisen tason. Siten myöskään vaurioitumisalttiutta ei ole (taulukko 2).
- Raitiovaunuliikenteen aiheuttaman tärinän heilahdusnopeuden arvioidaan olevan kohteessa Hansaportti asuinrakentamiseen tarkoitetun suositusarvon (0,3 mm/s) tasolla.
- Laskentaa on täydennetty kahdella poikkileikkauksen laskennalla, jotka on sijoitettu kuvan 1 mukaisesti Hansaportin ja Vantinportin läheisyyteen edustamaan sekä pääradan että ratikkalinjan herätettä.
- Laskennan tulosten suhteen tulee huomioida, että alueellisia pohjanvahvistuksia suunniteltaessa tulee huomioida raideliikenteen tärinän vaikutukset.

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.