

24.2.2022

Hiedanrannan alueen värähtelytarkastelu

Raitiotieliikenteen aiheuttamien tärinävaikutusten arviointi

1. Johdanto

Raitiotieliikenteen aiheuttamia tärinätasoja on arvioitu yhteen poikkileikkaukseen numeerista 2D FEM laskentaa käyttäen. Poikkileikkausten laskennallinen tarkastelu on tehty suunnittelutilanteessa, jossa rakennusten massoittelu on pääosin selvillä. Työ tarkastetaan, kun lopulliset massoittelut ovat selvillä.

Alueelle laadittava tärinäselvitys on laadittu seuraavasti:

- poikkileikkaustarkastelu on tehty kuvan 1 kohtaan
- tämän 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 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).

24.2.2022

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

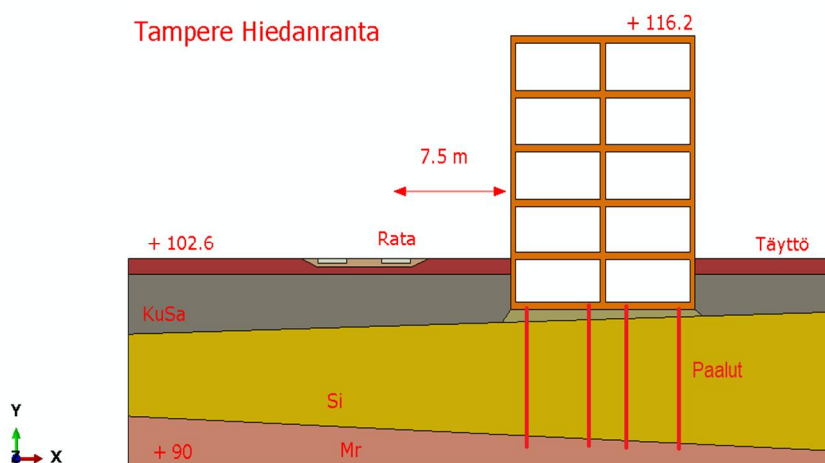
2.2. Tärinälaskennan tarkastelupoikkileikkaus

Tärinälaskentaan on valittu yksi poikkileikkaus. Se sijaitsee alueella kuvan 1 mukaisesti. Poikkileikkauksen kohdalla alueen maakerrokset ovat kuvan 2 mukaiset.

24.2.2022



Kuva 1. Tärinälaskennan leikkauksen sijainti.



Kuva 2. Laskentapoikkileikkaus mallinnuksessa.

24.2.2022

2.3. Tärinän laskennallinen arviointi

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

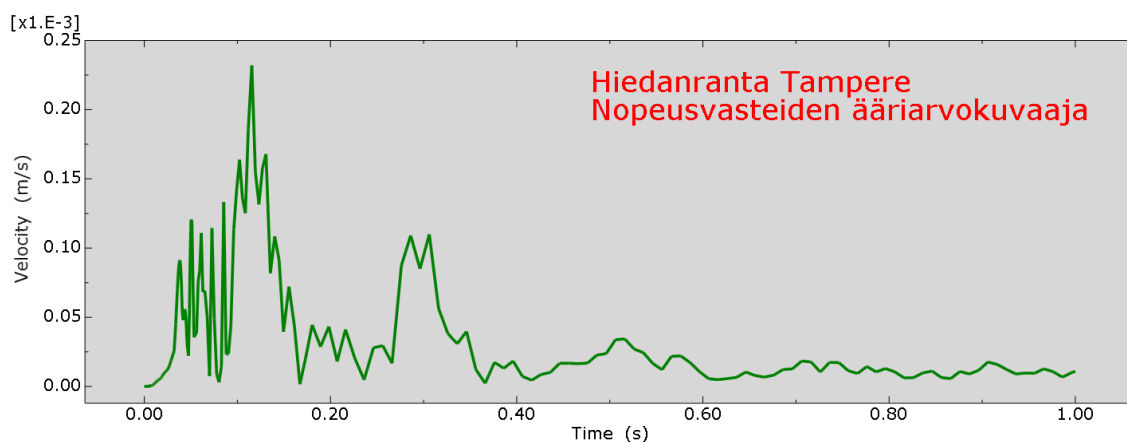
Värähtelyn etenemisen laskennassa on otettu huomioon alueen maaperäolosuhteet, rakennusten perustamistapa, mallinnetun rakennuksen ominaisuudet ja tarkasteltavan pisteen korkeusasema (kerros) suunnitellussa rakennuksessa. Lisäksi laskennassa on huomioitu kaluston ns. lovipyöräheräte, joka aiheuttaa normaalia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

Pohjasuhteiden arvioinnissa on käytetty alueen maaperätietojen perusteella muodostettua geoteknistä poikkileikkausta.

Tarkastelun laskennat olivat luonteeltaan dynaamisia ”pakkovärähtelyanalyysinä”. Mallissa materiaalikäyttäytyminen on lineaarista ilman myötöehtoa. Laskentaelementin koko valittu siten, että jokaisen elementin dimensiot vastaavat suurinta muodostuvaa tärinän aallonpituutta. Tärinän vasteita on havainnointi 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 akselipaino ja lovipyöräefekti. Laskennan aikajaksoksi valittiin 1 s, koska vasteen suppeneminen on tällöin jo havaittavissa. Nopeutena käytettiin 40 km/h ja akselipainona 17 tonnia.

Laskennan mallipoikkileikkaus (yksinkertaistettu runkojäykkyys) on kuvattu elementtimenetelmällä käyttäen 2D-solid –tyyppisiä lineaarisia tasomuodonmuutostilaelementtejä, joiden DOF –luku on 2 kpl solmua kohden (translaatiovapausasteet). Mallin koko oli DOF = 24500. Mallin reunat ja pohja ovat reunaehdoiltaan energiaa absorboivat. Rakennuksen jäykistykseen oletetaan tapahtuvan hissikulun ja osittaisen runkojäykistämisen kautta. Rakennus perustetaan kovaan pohjaan ulottuvilla betonipaaluilla. Mallin tukipaaluperustus pehmeiköstä johtuen on toteutettu muodostamalla elementaariset sidosyhtälöt rakennuksen alapinnan (vastaavien kohtien) ja alimman maakerroksen välille (kuva 2).



Kuva 3. Dynaaminen nopeusvaste, vastekäyrästä huippuarvokuvaaja. Tehollinen vertailuarvo ($v_{w,95}$) on puolet laskennallisesta huippuarvosta.

24.2.2022

3. Arvioidut tärinän heilahdusnopeudet

Laskennallisen tarkastelun tuloksena on esitetty rakennukseen kohdistuvien värähtelyn vaaka- ja pystysuuntaisten nopeuskomponenttien (kuva 3) kehittyminen tarkkailupisteissä, joita ovat (kuva 2) kunkin kerroksen tasalla edustavissa pisteissä. Näiden perusteella voidaan todeta seuraavaa:

Värähtelylaskennan tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava seuraavat seikat:

- lasketut tulokset edustavat heilahdusnopeuden maksimiarvoja (V_{max}). Ohjearvoon verrannollinen värähtelyn nopeuden vertailuarvo $v_{w,95}$ on noin 50 % värähtelyn maksimiarvosta.
- nykyisen suunnitelman mukaisen massoittelun lyhin etäisyys tärinää mitoittavaan raiteeseen (kiskoon) on noin 7.5 metriä, rakennuksen leveys 13 m ja korkeus 14 m. Nopeutena on käytetty 40 km/h ja akselipainona 17 tonnia.
- laskennallisen tarkastelun perusteella värähtelyn maksimitasot laskentapisteissä ovat suurimmillaan noin 0,23 mm/s (kuva 3). Tarkastelujakson (1 s) aikana on nähtävissä värähtelyn vaimentuminen. Suositeltuun ohjearvoon (0,3 mm/s) verrannollinen tulos ($v_{w,95}$) on 0,115 mm/s ja alittaa uusille asuinkehteille esitetyn suositusarvon 0,3 mm/s.

4. Johtopäätökset

- Poikkileikkauksiin tehtyjen tärinälaskentojen tulokset (vaaka- ja pystysuuntainen) alittavat kohteessa tärinälle suositellun ohjearvon mukaisen tason. Siten myöskään rakenteiden vaurioitumisalttiutta ei ole (taulukko 2).
- Junaliikenteen aiheuttaman tärinän heilahdusnopeuden arvioidaan olevan kohteessa asuinrakentamiseen tarkoitetun suositusarvon (0,3 mm/s, luokka C) alapuolella. Kuitenkin voidaan todeta, että laskennallisen arvion mukaan myös luokka B toteutuu. Raiderakenteen aktiivieristämällä (pohjaimet) saavutetaan luokka A.
- Laskennan tulosten suhteen tulee huomioida, että alueellisia pohjanvahvistuksia suunniteltaessa ei tehtyjen arvioiden mukaan tarvitse huomioida raideliikenteen tärinän vaikutuksia. 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.