

UUDEN RAITIOTIEN AIHEUTTAMAN TÄRINÄN ARVIOINTI JA TORJUNTA HERKKIEN TUTKIMUSLAITTEIDEN OSALTA

Pekka Taina¹, Tommi Saviluoto¹, Miikka Valtonen²

¹ Sitowise Oy
Linnoitustie 6 D
02600 Espoo
etunimi.sukunimi@sitowise.com

² Sitowise Oy
Askonkatu 9
15100 Lahti
etunimi.sukunimi@sitowise.com

Tiivistelmä

Raide-Jokeri on Helsingin Itäkeskuksen ja Espoon Keilaniemen välille rakennettava pikaraitiolinja. Radan pituus on noin 25 km, josta noin 16 km sijoittuu Helsinkiin ja 9 km Espooseen.

Raide-Jokerin linjaus kulkee Viikin tiedepuiston lävitse, jossa sijaitsee suuri määrä tärinälle herkkiä tutkimuslaitteita. Maaperä alueella vaihtelee, mutta on osittain hyvin pehmeää, mikä edesauttaa liikennetärinän syntymistä ja leviämistä.

Hankkeen yhteydessä mitattiin tärinäherkkiin laitteisiin ajoneuvoliikennöinnistä ja rakennuksen käytöstä kohdistuva värähtelykuormitus, arvioitiin raitiotien liikennöinnin aiheuttama tärinävaikutus ja suunniteltiin vaimennusratkaisut ratarakenteisiin

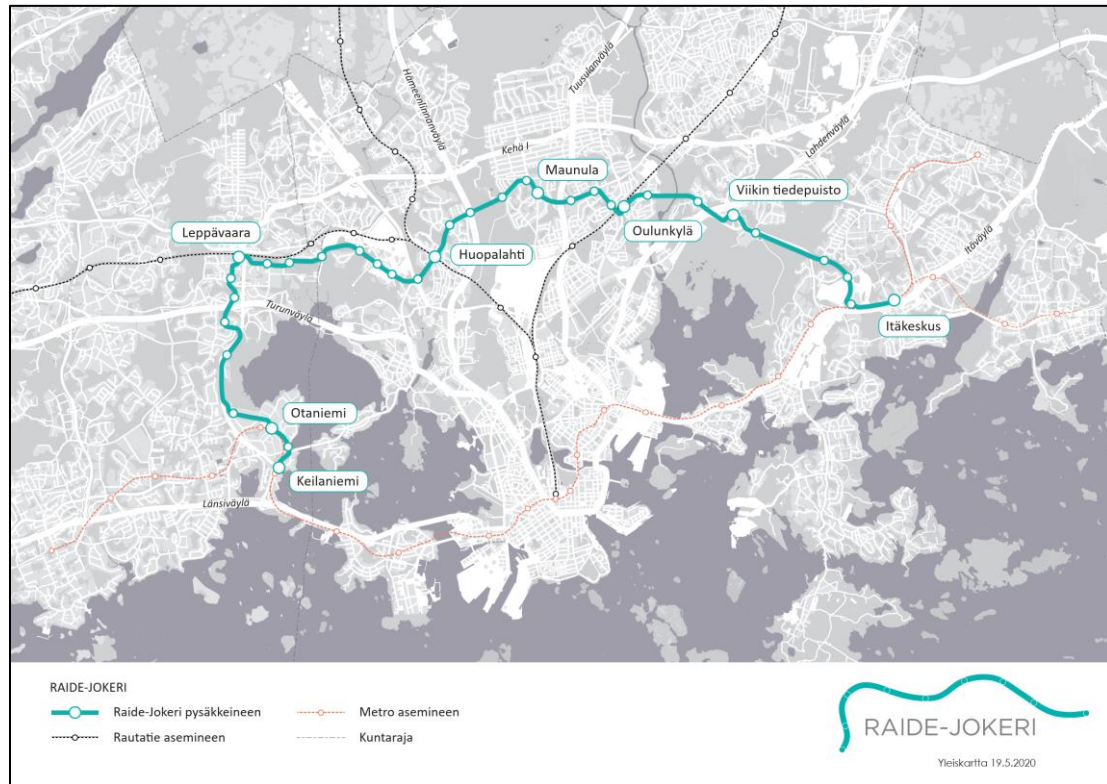
1 JOHDANTO

Raide-Jokeri on Helsingin Itäkeskuksen ja Espoon Keilaniemen välille rakennettava pikaraitiolinja. Radan pituus on noin 25 km, josta noin 16 km sijoittuu Helsinkiin ja 9 km Espooseen. Raideyhteys korvaa runkobussilinja 550:n, joka on Helsingin seudun vilkkaimmin liikennöity bussilinja. Sen kuljetuskapasiteetti ei pysty vastaamaan kasvavaan matkustajamäärään.

Linja kulkee Viikin tiedepuiston lävitse. Tiedepuistossa sijaitsee suuri määrä tärinälle herkkiä tutkimuslaitteita. Hankkeen yhteydessä selvitettiin raitiotien liikennöinnin aiheuttamaa tärinää ja vaikutuksia laitteille.



© 2021 Pekka Taina, Tommi Saviluoto ja Miikka Valtonen. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.



Kuva 1. Raide-Jokerin linjaus.

Raide-Jokeri-allianssiin kuuluvat tilaajina Helsingin ja Espoon kaupungit, palveluntuottajina urakoitsijat YIT Suomi Oy ja NRC Group Finland Oy sekä suunnitteluorganisaatioina Sitowise Oy, Ramboll Finland Oy ja Sweco.

2 LIKENNETÄRINÄN ESIINTYMINEN

Liikennetärinä on liikenneväylän kaluston pyörien ja liikenneväylän kontaktissa syntyvää värähtelyä, joka siirtyy väylän alusrakenteiden ja maaperän kautta rakennusten perustuksiin ja huonetiloihin. Pehmeät ja paksut maakerrokset siirtävät tehokkaimmin tärinää. Tärinän syntymisen ja leviämisen laskennallinen arviointi on monimutkainen ja usein kokemuspäiseenkin tietämykseen perustuva tehtävä. Arviointityökalut ovat kehittyneet voimakkaasti vuosien saatossa.

3 LÄHTÖTILANNE

Viikin tiedepuiston alueella sijaitsee muun muassa Helsingin yliopiston bio- ja ympäristötieteellisen, farmasian, eläinlääketieteellisen ja maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan rakennuksia. Alueella on lisäksi suuri määrä yksityisiä toimijoita, joilla on käytössään tärinälle herkkiä tutkimuslaitteita.

Raide-Jokeri-pikaraitiotien linjaus kulkee alueen halki Viikinkaarta ja Viikintietä pitkin. Pääosa uuden raitiotien vaikutuspiirissä sijaitsevista herkistä toiminnoista sijoittuu Viikin-kaaren varrelle. Yliopistollinen eläinsairaala sijoittuu muusta herkistä toiminnasta poiketen Viikintien varrelle. Kaiken kaikkiaan tärinälle herkät toiminnot sijoittuvat kuuteen eri rakennukseen alueella.



Kuva 2. Raide-Jokeri rakentumassa Viikinkaaren alueelle.

Alueen maaperäolosuhteet ovat hyvin vaihtelevia, ja alue on osittain tärinän haitalle otollista vanhaa merenpohjaa. Viikinkaaren länsipäässä maaperä radan alla on pehmeintä, ja peruskallio on noin 40 metrin syvyydellä. Eläinsairaalan kohdalla Viikintiellä maaperä on oleellisesti erilaista kuin Viikinkaarella. Tällä kohdalla maaperäkerrokset ovat vähemmän pehmeitä ja peruskallio on vain noin 8 metrin syvyydellä. Myös rakennukset, joissa tutkimuslaitteita sijaitsee, ovat perustamistavaltaan ja rakenteiltaan monenkirjavia, kuten myös herkkien laitteiden perustukset.

4 LÄHTÖTIETOJEN KARTOITTAMINEN

4.1 Herkät laitteet ja tärinän raja-arvot

Herkille toiminnoille ja laitteistoille asetetut tärinän raja-arvot voivat olla äärimmäisen tiukat. Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää, joka nopeustasona ilmoitettuna on suuruudeltaan korkeintaan 0,1 mm/s, ja nykyisen määräystason mukaan liikennetärinä ei asunnoissa saisi ylittää arvoa 0,3 mm/s [1],[2]. Tällaisen tärinän siis osa ihmisistä mahdollisesti havaitsee. Herkkien laitteiden tärinärajat voivat olla jopa suuruusluokkaa 0,0001 mm/s, eli laitteet voivat olla tuhat kertaa ihmisen tuntoaistia herkempiä tärinälle.

Herkät laitteet kartoitettiin alueen toimijoille lähetetyn kyselyn ja kohteissa suoritettujen käyntien avulla. Osasta laitteista saatiin laitevalmistajan ilmoittamat tärinän vaatimustasot, mutta kaikkien herkkien laitteiden vaatimustasoja tärinän osalta ei ollut saatavilla. Lähtötietoina käytettiin myös tutkimuslaitteiden taustavärähtelyolosuhteiden arvioinnissa käytettäviä yleisiä tärinäkiteerejä [3].

Laitteille asetetut värinävaatimukset olivat hyvin monenkirjavia. Vaatimuksia oli esitetty kiihtyvyyksinä, nopeustasoina ja siirtyminä, ja niitä oli esitetty sekä tehollisarvoina (RMS) että huippuarvoina (peak). Myös värinävaatimukset suunnan ja taajuuden suhteen vaihtelivat.

Värinän arviointi suoritettiin käyttämällä nopeustasojen tehollisarvoja v_{RMS} . Kun arvioidaan pienitaajuisia värinää laskennallisesti uuden liikenneväylän tapauksessa, on arvioinnin tarkkuus joka tapauksessa melko rajallinen. Tehollisarvoja käytettiin, koska värinän huippuarvot ovat tehollisarvoa satunnaisempia, ja hankalammin ennakoitavissa. Pääosin arviointi tehtiin käyttäen liikennetärinän pystysuuntaista komponenttia $v_{RMS,z}$, mutta myös muita suuntia tarkasteltiin.

Huippuarvoina esitettyjä laitevaatimuksia verrattiin värinäarviossa määriteltäisiin tehollisarvoihin arvioimalla tehollisarvon ja huippuarvon välistä suhdetta (crest factor, C), joka ei liikennetärinän kaltaisella signaalilla ole vakio. Suhdetta tutkittiin referenssimittausten näytteistä, ja pienillä taajuuksilla suhteen arviointi vaihtelevan noin välillä 1,4...4. Näytteiden perusteella suhde kasvaa taajuuden kasvaessa, mutta toisaalta myös värinän merkittävimmät komponentit olivat hyvin pienillä taajuuksilla. Tehollisarvon ja huippuarvon suhdetta arviointiin oletuksella, ettei värinäsignaaliin muodostu merkittäviä impulsseja esimerkiksi vaihteista, vaan signaali on luonteeltaan suhteellisen jatkuvaa ja tasaista.

$$C = \frac{|x_{\text{peak}}|}{x_{\text{RMS}}} \quad (1)$$

Värinäarviossa pyrittiin huomioimaan myös laitteiden erilainen toiminta-aika sekä värinäaltistuksen vaikutukset laitteiden toimintaan ja rikkoutumiseen.

4.2 Värähtelyn arvioinnin lähtötiedot mittauksin

Laskennallisen värinäarvion pohjaksi suoritettiin referenssimittauksia Helsingin raitiotien kantaverkon alueella. Referenssimittauksia suoritettiin hanketta varten valikoiduissa kohteissa siten, että ne vastaisivat mahdollisimman hyvin tarkasteltavaa tilannetta. Lisäksi läpikäytiin yrityksen vanhoja mittaustietokantoja, ja aineiston perusteella muodostettiin värinän verhoikäyriä värinäarvioiden lähtötiedoksi.

Herkkiin kohteisiin kohdistuvan taustatärinän lähtötilanne määriteltiin mittaamalla värähtelytasoa rakenteista ja laiteperustuksista. Mm. Viikinkaarella ajavien bussien osuminen kaivonkansiin aiheutti merkittäviä värinätasoa. Lisäksi rakennuksen sisällä tilojen käytöstä ja teknisistä laitteista aiheutuu jossain määrin värinää. Viikintiellä tilanne oli huomattavasti parempi ja taustatärinätasot olivat lähtötilanteessa maltillisempia.

Maanrakennustöiden herkkiin kohteisiin tuottamaa värinää simuloitiin ennen rakentamisen aloittamista tekemällä alueella työmaatärinän simulointikokeita. Kokeissa Viikinkaarella ja Viikintiellä simuloitiin työkoneilla erilaisia rakentamisessa aiheutuvia värinähaittoja. Simuloinnit tehtiin etupäässä siinä tarkoituksessa, että herkkien laitteiden käyttäjät kykenivät arvioimaan laitteidensa toimintakykyä ja työmaan aikataulujen yhteensovituksen tarvetta työmaa-aikana.

Työmaatärinän simulointien sekä lähtötilannemittausten perusteella voitiin myös jossain määrin arvioida maaperän, rakennusten ja rakenteiden ominaistajuuksia.

4.3 Muut värähtelyn arvioinnin lähtötiedot

Raitiokaluston ajonopeudet Viikinkaarella ovat suunnitelmien mukaan 30-40 km/h ja Yliopistollisen eläinsairaalan kohdalla 50 km/h. Tutkimuslaitosten herkkien laitteiden välittömään läheisyyteen ei sijoitu vaihteita.

Liikennöivä kalusto tulee olemaan samaa Škoda Transtech ForCity Smart Artic -tuoteperhettä kuin Helsingin kantaverkolla nykyisinkin liikennöivä Artic-kalusto, mutta kaluston ominaisuuksia on kuitenkin hieman muokattu nykyiseen verrattuna. Uuden kaluston pituus on lähtökohtaisesti noin 34 m ja se on laajennettavissa noin 44 m pituiseksi. Myös uuden kaluston suurin akselipaino sekä kokonaispaino kasvavat nykyiseen kalustoon verrattuna.

5 TÄRINÄN ARVIOINTI

Tärinän synnyn ja leviämisen arvioinnissa sovellettiin laskentaa, joka mukailee VTT:n vuonna 2006 esittämää raideliikenteen tärinän laskentamallia [4]. Laskennan lähtötiedoksi syötettiin mittaustulosten perusteella arvioituja tärinätasoja referenssietäisyydellä, ja lisäksi arvioinnissa hyödynnettiin kirjallisuudessa esitettyä alan tutkimustietoa ja muita raportteja. Värähtelyn kytkeytyminen maaperästä rakennuksen perustuksiin sekä värähtelyn voimistuminen rakenteissa arvioitiin VTT:n vuonna 2008 esittämien mallien mukaisesti [5]. Kaikki arviointi tehtiin kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 1...100 Hz.

Arviointia ei ollut käytännöllistä suorittaa kaikkien alueen laitteiden osalta erikseen, joten tarkasteluun valittiin tärinävaatimusten, maaperäolosuhteiden ja etäisyyksien perusteella merkittävimmäksi katsotut kohteet. Arviossa huomioitiin liikennöivän kaluston, radan, maaperän, rakennusten ja herkkien laitteiden ominaisuudet ja sijainnit.

Tärinäarvioon liittyen tehtiin lisäksi erillinen epävarmuustarkastelu, koska pelkällä ”worst case”- tilanteen arviolla ja laskennan tarkkuuden huomioivilla varmuusmarginaaleilla päädytään helposti mahdollisiin tilanteisiin. Arviossa tutkittiin erikseen oletettua toimivuutta ja pahinta mahdollista tilannetta. Epävarmuustarkastelussa arvioitiin laskentamenetelmän ja lähtötietojen tarkkuutta ja satunnaisuutta sekä kaluston, maaperän ja rakenteiden ominaisuuksien muuttumista ajan mukaan.

6 TÄRINÄN TORJUNTA

Tärinäarvion tuloksena todettiin, että ilman erillisiä torjuntatoimenpiteitä on merkittävä riski sille, että raitiotien liikennöinnin aiheuttama tärinä ylittää herkille laitteille asetettuja vaatimuksia Viikinkaaren alueella. Tärinätorjunnan suunnittelussa tutkittiin eri vaihtoehtoja. Vaihtoehtoisiksi tärinän torjuntatavoiksi tunnistettiin toimenpiteet väylän linjaukseen, muutokset liikennöivään kalustoon, muutokset radan perustamistapaan ja rakenteeseen, muutokset radan ja rakennusten väliseen maaperään sekä rakennuksessa tehtävät toimenpiteet.

Vaihtoehtotarkastelun pohjalta Viikinkaarella päätettiin toteuttaa ratarakenteeseen ja radan perustuksiin tärinää vaimentava ratkaisu. Ratkaisussa rata perustetaan keskimäärin noin 700 mm paksun ja 7400 mm leveän paalulaatan varaan, ja paalulaatan päälle sijoittuva kiintoraidelaatta runkomelueristetään. Rakenteen molempiin päätyihin suunniteltiin siirtymälaatat, jotta radan pystysuuntaisen jäykkyyden muutos oli hallittu, eikä se siten aiheuttaisi ylimääräistä tärinähaittaa. Rakenteen kuivatukseen ja risteysten sekä tonttiliittymien toteuttamiseen liittyvä detaljiikka suunniteltiin erikseen värähtelyteknisesti toimivaksi.

Lyöntipaalujen käyttäminen alueella olevan herkän toiminnan vuoksi on käytännössä mahdotonta, joten paalulaatta päätettiin perustaa halkaisijaltaan 170 mm paksujen teräsputki-paalujen varaan. Maanrakennustöiden simuloinnin ansiosta rakentamisesta aiheutuva tärinähaitta voidaan jossain määrin arvioida ennen eri työvaiheiden aloittamista, mikä helpottaa töiden aikataulutusta ja yhteensovittamista alueen toimijoiden kanssa.

Vaimennusratkaisun toteuttamisen myötä Raide-Jokerin liikennöinnistä syntyvä, maaperän kautta rakennuksiin siirtyvä tärinä Viikinkaaren varrella on vähäistä. Herkkiin laitteisiin kohdistuva tärinä on oletettuun toimivuuteen perustuvan arvion mukaan laitevaatimusten sallimissa rajoissa, eikä raitiotien liikennöinti näin ollen häiritse niiden toimintaa.

Viikintien kohdalla raitiotien aiheuttaman tärinän arvioitiin olevan niin pientä, että Eläinsairaalan kohdalle ei suunniteltu ratarakenteisiin erillistä tärinää vaimentavaa rakennetta. Sairaalan kohdalla laadittiin kuitenkin alustava suunnitelma rakennuksessa toteutettaville tärinänhallinnan toimenpiteille, mikäli koeajoliikenteen aikana suoritettavissa tarkastusmittauksissa havaittaisiin vaimennustarpeita.

VIITTEET

- [1] Talja A. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokitukselta. VTT Tiedotteita 2278. Espoo, 2004.
- [2] Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki, ympäristöministeriö, 2018.
- [3] C. G. Gordon, Generic Vibration Criteria for Vibration Sensitive Equipment, Proc. SPIE, Vol. 3786, 1999
- [4] Törnqvist J. & Talja A. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. VTT Working papers 50. Espoo, 2006.
- [5] Talja A., Vepsä A., Kurkela J. & Halonen M. Rakennukseen siirtyvän tärinän arviointi. VTT Tiedotteita 2425. Espoo, 2008.