

# RAIDE-JOKERIN RUNKOMELU JA ERISTYSRATKAISUT

**Pekka Taina, Jarkko Punnonen**

Sitowise Oy  
Linnoitustie 6 D  
02600 ESPOO  
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. Raideyhteys korvaa runkobussilinja 550:n, joka on Helsingin seudun vilkkaimmin liikennöity bussilinja, ja jonka kuljetuskapasiteetti ei pysty vastaamaan kasvavaan matkustajamäärään.

Uuden pikaraitiotien liikennöinti voi aiheuttaa runkomeluhaittaa ympäristöönsä. Ratarakenne ja maaperäolosuhteet vaihtelevat linjan varrella merkittävästi. Runkomelu leviää tehokkaimmin ympäristöönsä kallioperäisillä alueilla, mutta myös muilla alueilla voi esiintyä runkomelun torjuntatarpeita. Runkomelun leviäminen on ollut tarpeellista selvittää koko hankkeen laajuudella.

Hankkeen suunnitteluvaiheessa arvioitiin laskennallisesti pikaraitiotien liikennöinnin aiheuttama runkomelutaso radan varrella sijaitseviin kohteisiin ja suunniteltiin vaimennustoimenpiteet ratarakenteisiin. Vaimennustoimenpiteet toteutetaan sepeliraidesuuksilla sepelinalusmatoilla ja kiintoraideosuuksilla pääosin massa-jousijärjestelmänä. Runkomelueristys suunniteltiin siten, että uuden pikaraitiotien liikennöinti ei aiheuta olemassa oleviin rakennuksiin runkomeluhaittoja, eikä rajoita radan varrelle kaavoitettujen alueiden rakentamista.

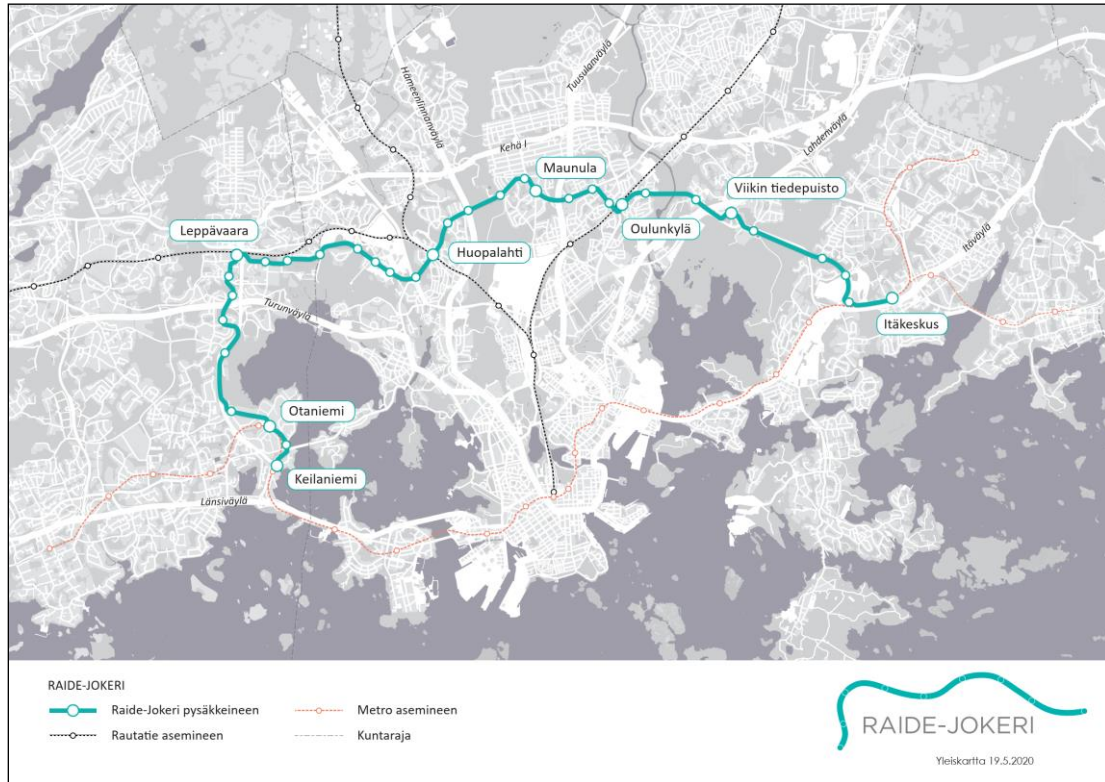
## 1 JOHDANTO

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 pääosin keskellä tiheään rakennettua ympäristöä. Lisäksi hankkeen varrelle on kaavoitettu huomattavasti uutta rakentamista. Pääosa rakentamisesta on asuin- ja liikerakentamista, mutta linjan varrelle sijoittuu myös paljon muita toimintoja.



© 2021 Pekka Taina ja Jarkko Punnonen. 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 johdannais-teoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.



**Kuva 1. Raide-Jokerin linjaus.**

Raide-Jokeri-hankkeen runkomeluserelvityksessä selvitettiin laskennallisen mallinnuksen keinoin runkomelun vaikutukset hankkeen varrella sijaitsevilla rakennuksissa sekä arvioitiin rakenteellisen runkomeluntorjunnan tarve. Torjuntatoimenpiteet suunniteltiin tarvittaville rataosuuksille. Selvityksessä huomioitiin nykyinen ja tunnistettu tuleva maankäyttö. Selvitys laadittiin koko uuden raitiolinjan noin 25 kilometriä pitkältä suunnittelualueelta

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 RUNKOMELUN ESIINTYMINEN

Runkomelu on maaperän kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu rakennuksessa kuultavaksi ääneksi. Liikennöinnin aiheuttama runkomelu syntyy liikennöivän kaluston pyörien ja liikenneväylän kontaktissa, aiheuttaen väylän alusrakenteiden ja maaperän kautta rakennusten perustuksiin etenevää värähtelyä. Rakennuksen perustuksista värähtely etenee rakennuksen runkoa pitkin huonetiloja rajaaviin rakenteisiin, jotka säteilevät ääntä värähdellässään.

Tyypillisesti runkomelua esiintyy kallioisilla ja muilla kovilla maaperillä, mutta lyhyillä etäisyyksillä se voi olla merkittävää myös pehmeillä maaperillä. Runkomelun syntymisen ja leviämisen laskennallinen arviointi on monimutkainen ja usein ainakin osittain kokemusperäiseen tietämykseen perustuva tehtävä. Arviointityökalut ovat kehittyneet voimakkaasti vuosien saatossa. Runkomelun arvioinnin yleisiä periaatteita on kuvattu standardissa ISO 14837-1 [1].

### 3 RUNKOMELUN ARVIOINTI

#### 3.1 Runkomelun suunnitteluperusteet hankkeessa

Hankkeen suunnitteluperusteiden mukaisesti runkomelun osalta Raide-Jokeri-hankkeen suunnittelua ohjaavat VTT:n tiedotteen 2468 Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi (esiselvitys) suositusarvot ja uuden asuinrakentamisen osalta Ympäristöministeriön ohjeessa rakennuksen ääniympäristöstä esitetyt ohjearvot [2],[3],[4]:

- Maaperäisen runkomelutason  $L_{prm}$  ohjearvo on 30 dB ja avoradoilla 35 dB.

Muiden, kuin asuin-, majoitus- ja potilashuoneiden osalta sovelletaan VTT:n Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi -julkaisussa esitettyjä suositusarvoja seuraavasti:

- Toimistotilat  $L_{prm}$  45 dB.

#### 3.2 Arvioinnin lähtötiedot

Runkomelun leviämisen näkökulmasta maaperä radan alla ja sen välittömässä läheisyydessä muuttuu ratalinjan varrella merkittävästi. Myös radan päällysrakenne vaihtelee linjalla, ja hankkeessa on käytössä useita kisko- ja raidetyyppejä. Radan yleisimmin käytetty päällysrakenne perustuu 2000 mm x 300 mm kiintoraidealataan, ja alusrakenteena tyypillisesti on tasoitettu ja tiivistetty murskekerros.

Rata kulkee pääosin maan pinnalla maanvaraisesti perustettuna, mutta linjan varrella on myös muutamia siltoja ja yksi tunneli. Lisäksi Leppävaaran ja Itäkeskuksen alueella rata kulkee osittain erillisen betonirakenteen päällä. Maan pinnalla kulkevan radan alle toteutetaan useissa paikoissa massanvaihtoja, stabilointeja, maasiltoja ja paalulaattoja. Radan varrelle sijoittuvat rakennukset on perustettu vaihtelevilla tavoilla.

Pikaraitiotien raideleveys on 1000 mm, jolloin se on yhteensopiva Helsingin raitioteiden kantaverkon kanssa. Pikaraitiotiellä liikennöivä kalusto tulee olemaan samaa Škoda Trans-tech ForCity Smart Artic -tuoteperhettä kuin Helsingin kantaverkolla nykyisinkin liikennöivä uudempi 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. Liikennöintinopeudet vaihtelevat rataosuuksilla välillä 0...70 km/h.

#### 3.3 Arviointimenetelmät

Runkomelun leviäminen ympäristöön arvioitiin soveltamalla VTT:n tiedotteessa 2468 Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi (esiselvitys) [2] esitettyä laskentamallia. Laskentamallissa runkomelun arvioinnin lähtökohtana on peruskäyrältä saatu maaperän värähtelyn nopeustaso ( $L_v$ ), jota korjataan värähtelyn aiheuttajasta, siirtotiestä ja rakennuksesta riippuvilla nopeustason korjaustekijöillä ( $\Delta L_{v,i}$ ) siten, että lopputuloksena saadaan runkomelua kuvaava sisätilan äänitaso ( $L_{pA}$ ).

$$L_{pA}[\text{dB}] = L_v + \sum \Delta L_{v,i} \quad (1)$$

Koska menetelmä sisältää huomattavasti epävarmuuksia, sitä tarkennettiin ja sen luotettavuutta lisättiin Helsingin kantaverkon alueella suoritetuilla mittauksilla, huomioiden eroavaisuudet kalustossa, ratarakenteissa ja maaperässä.

Arvioinnissa huomioitiin ratarakenteiden, radan perustusten, maaperäolosuhteiden sekä liikennöintinopeuden vaihtelu hankkeen varrella. Samoin huomioitiin myös samanaikaisesti eri suuntiin liikennöivän kaluston yhteisvaikutus sekä radan vaihteista aiheutuva runkomelun voimistuminen. Rakennusten perustamistapa oletettiin lähtökohtaisesti aina kallionvaraiseksi. Arvioinnissa huomioitiin myös maan ja katuympäristön pintakerroksissa etenevä runkomeluberä.

## 4 TORJUNNAN SUUNNITTELU

### 4.1 Torjuntatarpeen määrittely

Radasta ympäristöön leviävä runkomelu ilman vaimennustoimenpiteitä mallinnettiin laskennallisesti. Radan varrelle sijoittuvissa rakennuksissa arvioidun runkomelutason ja suunnitteluperusteissa esitettyjen vaatimusten erotuksena määriteltiin runkomelun vaimennustarve (lisäsvaimennus, insertion loss,  $IL$ ) eri rataosuuksille.

$$IL[\text{dB}] = L_{pA,\text{arvioitu}} - L_{pA,\text{sallittu}} \quad (2)$$

Vaimennustarve jaettiin eri luokkiin 5 dB pykälän: 0 dB (ei vaimennustarvetta) – 15 dB. Yli 15 dB:n alueilla vaimennustarve ja ratkaisut tarkasteltiin tapauskohtaisesti.

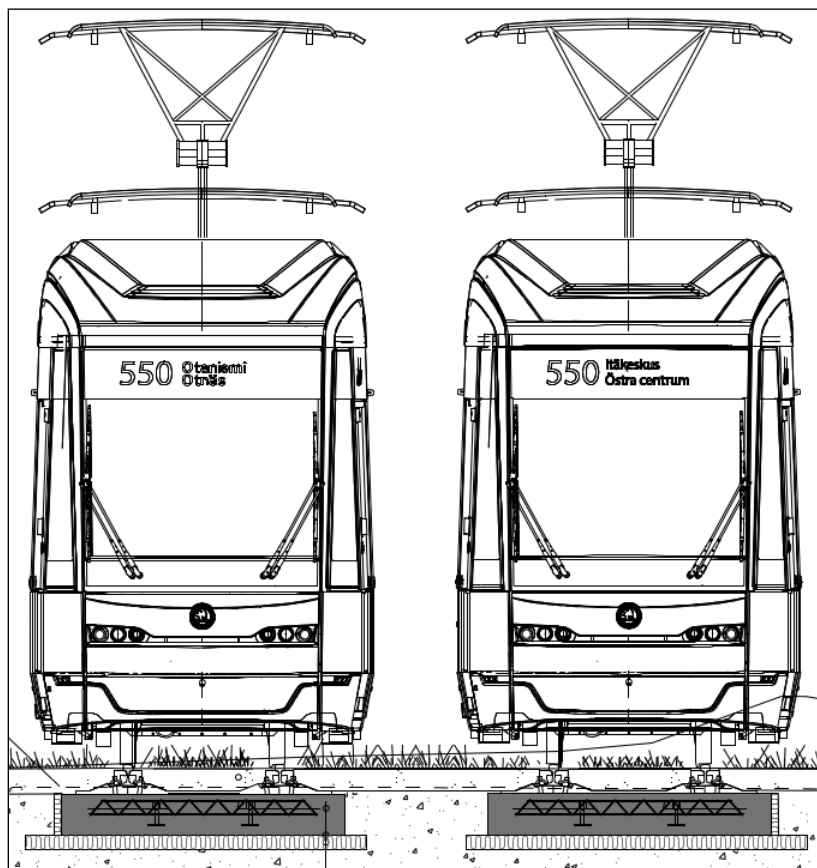
### 4.2 Torjunnan suunnittelu

Ratarakenteisiin toteutettavien runkomeluntorjunnan periaatteellisia ratkaisuvaihtoehtoja on esitelty standardissa ISO 14837-1 [1]. Raide-Jokeri-hankkeessa runkomelun pääasiallisena vaimennusratkaisuna käytettiin kiintoraideosuuksilla massa-jousijärjestelmää, jossa kiintoraidelaatan alle ja kylkiin sijoitetaan ominaisuuksiltaan runkomelueristykseen sopiva eristysmatto.

Sepeliraideosuuksilla runkomelun eristykseen käytettiin tukikerroksen alle sijoitettuja sepelinalusmattoja. Lisäksi erityispaikoissa lähinnä tilanahtauden takia käytettiin kiintoraidelaatan ja kiskon väliin sijoitettavaa ERS eristysratkaisua, jossa koko kisko ympäröidään joustavalla materiaalilla.

Runkomelun torjuntaratkaisut mitoitettiin vaimennustarpeen, runkomelun herätteen taajuussisällön sekä muiden lähtötietojen perusteella alueittain yhteistyössä eristystoimittajien kanssa. Mitoituksissa huomioitiin eristysmateriaalin staattiset ja dynaamiset jäykkyysominaisuudet käyttötilannetta vastaavissa olosuhteissa. Materiaaliominaisuudet oli testattu riippumattomien testauslaitosten toimesta runkomelueristysmateriaalien testaukseen tarkoitettujen standardien menetelmillä [5],[6],[7]. Runkomelueristysvaatimusten lisäksi huomioitiin kiskon ja päällysrakenteen taipumaan liittyvät vaatimukset.

Mitoituksen perusteella valittiin käytettävät eristystuotteet rataosuuksittain. Mitoituksessa esitettiin rataosuuksittain eristyksen minimipituudet runkomelun näkökulmasta. Lisäksi eristintuotteilla toteutettiin tarpeen mukaan siirtymäalueita, joilla radan pystysuuntaisen jäykkyyden muutos saatiin riittävässä määrin asteittaiseksi. Runkomelueristys mitoitettiin siten, että kaikissa raitiotien runkomelulle altistuvissa kohteissa täytetään hankkeessa runkomelulle asetetut suunnitteluarvot.



**Kuva 2. Runkomelueristeen sijoittuminen kiintoraidelaatan alle, periaateleikkaus.**

Koska ratarakenteeseen sijoitettavat vaimennusmateriaalit altistuvat asennuksen ja käytön aikana Suomen ilmasto-olosuhteille, tarkasteltiin niiden toimintaa myös mm. kylmissä ja kosteissa olosuhteissa. Eristyksen toiminnan varmistamisen kannalta oleellista oli lisäksi käydä huolellisesti läpi eristimien asennuspinnan vaatimukset yhdessä materiaalitöimittäjän, suunnittelijoiden ja rakentajien kanssa.

## 5 YHTEENVETO

Raide-Jokeri-hankkeen runkomeluselvityksessä selvitettiin laskennallisen mallinnuksen keinoin runkomelun vaikutukset hankkeen varrella sijaitsevilla rakennuksissa. Radasta ympäristöön leviävä runkomelu ja vaimennustarve mallinnettiin laskennallisesti rataosuuksittain.

Runkomelun pääasiallisena vaimennusratkaisuna käytettiin kiintoraidEOSuuksilla massajousijärjestelmää ja sepeliraidEOSuuksilla sepelinalusmattoja. Lisäksi erityispaikoissa käytettiin kiintoraidelaatan ja kiskon väliin sijoitettavaa ERS eristysratkaisua. Runkomelun torjunnassa käytettävät ratkaisut ja tuotteet mitoitettiin rataosuuksittain siten, että kaikissa raitiotien runkomelulle altistuvissa kohteissa täytetään hankkeessa runkomelulle asetetut suunnitteluarvot.

Selvityksessä huomioitiin nykyinen ja hankkeen aikana tiedossa ollut tuleva maankäyttö. Selvitys laadittiin koko uuden raitiolinjan noin 25 kilometriä pitkältä suunnittelualueelta.

## VIITTEET

- [1] ISO 14837-1:2005. Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems — Part 1: General guidance.
- [2] Talja A. & Saarinen A. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi (esiselvitys). VTT Tiedotteita 2468. 2009.
- [3] Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki, ympäristöministeriö, 2018.
- [4] Raide-Jokeri, Suunnitteluperusteet, 24.9.2019, päivitysversio 21.4.2020
- [5] DIN 45673-5:2010. Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 5: Labor-Prüfverfahren für Unterschottermatten. (Mechanical vibration - Resilient elements used in railway tracks - Part 5: Laboratory test procedures for under-ballast mats.).
- [6] DIN 45673-7:2010 Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 7: Labor-Prüfverfahren für elastische Elemente von Masse-Feder-Systemen. (Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks – Part 7: Laboratory test procedures for resilient elements of floating slab track systems.).
- [7] DIN 45673-8:2018-12 Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 8: Labor-Prüfverfahren für kontinuierliche elastische Schienenlagerungen, (Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks – Part 8: Laboratory test procedures for continuous elastic rail supports.).