

# PISARARADAN RUNKOMELUSELVITYS JA ERISTYSRATKAISUT

**Henri Penttinen<sup>1</sup>, Timo Peltonen<sup>1</sup> ja Timo Markula<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Akukon Oy  
Hiomotie 19  
00380 Helsinki  
etunimi.sukunimi@akukon.fi

<sup>2</sup> Akukon Oy  
Kutomonkatu 3  
20100 Turku  
etunimi.sukunimi@yritys.fi

## Tiivistelmä

Junaliikenne voi aiheuttaa tärinä- ja runkomeluhaittoja ympäristöönsä. Pissararadan suunnittelussa on käytetty laskennallista runkomelumallia, jonka avulla voidaan arvioida junaliikenteen ympäristöönsä aiheuttamat runkomeluhaitat ja mitoittaa radan eristysratkaisut ympäristön kohteiden asettamien vaatimusten mukaisesti. Pissararata on Helsingin keskustan alle suunniteltu lähijunien kaupunkiratalenkki. Pissaran mallinen rata alkaa Pasilasta ja kiertää kalliotunnelissa Töölön, Helsingin keskustan ja Hakaniemen kautta takaisin Pasilaan. Ratalinjauksen lähiympäristössä on satoja nykyisiä asuin-, koulu- ja toimistorakennuksia sekä lukuisia kansallisesti merkittäviä melulle herkkiä kohteita. Runkomeluselvityksen tarkastelussa on huomioitu sekä nykyiset että tulevat rakennukset ja kaava-alueet. Runkomelun tavoitetasot on asetettu kohde- ja rakennuskohtaisesti yli 600 rakennukselle, ja runkomelun vaimennustarpeet rataosuuksille on selvitetty koko ratalinjan kattavien leviämismallilaskentojen avulla. Runkomelueristykselle on selvää tarvetta. Yli 80 % ratalinjauksesta eristetään lukuun ottamatta Alppipuiston aluetta. Ratarakenteisiin sijoitettava eristys jakautuu kolmeen eristysluokkaan, joilla eri rataosuuksille tarvittava eristys on optimoitu. Eristysmateriaaleja tarvitaan yhteensä yli 60 000 m<sup>2</sup>. Radan runkomelueristyksellä päästään lopputulokseen, jossa Pissararadan ratalinjauksen ympäristöön ei aiheudu runkomeluhaittoja. Mitoituksessa on huomioitu myös tulevien alueiden kaavoitus niin, että runkomelu ei aseta maankäytön rajoituksia tulevalle rakentamiselle ratalinjauksen varrella. Pissararadan ratasuunnitteluvaihe on valmistunut kesällä 2015, ja rakentamissuunnittelua jatketaan vuoden 2017 kevääseen asti.

## 1 JOHDANTO

Pissararata on Helsingin keskustan alle suunniteltu lähijunien kaupunkiratalenkki. Pissaran mallinen rata alkaa Pasilasta ja kiertää kalliotunnelissa Töölön, Helsingin keskustan ja Hakaniemen kautta takaisin Pasilaan. Linja muodostuu Pasilan aseman eteläpuolelle sijoittuvasta 2 km avorataosuudesta sekä rakennetun kaupunkialueen alle louhittavasta 6 km mittaisesta silmukasta. Rata toteutetaan kahteen rinnakkaiseen kalliotunneliin, jotka yhdistyvät asemien laiturihallien sekä radan raiteenvaihtopaikkojen kohdalla. Pissararata liittyy nykyiseen raiteistoon Pasilan aseman eteläpuolisella avorataosuudella.



Kuva 1. Pesararadan linjaus ja asemat kartalla.

Pesararadan linjauksen yläpuolella ja välittömässä lähiympäristössä on satoja nykyisiä asuin-, koulu- ja toimistorakennuksia, jotka ovat alttiita junaliikenteen runkomelulle. Radan ympäristössä on myös useita kansallisesti merkittäviä erityiskohteita, jotka ovat herkkiä runkomelulle: Kansallisooppera, Tempeliahukion kirkko, Eduskunta, Hiljaisuuden kappeli, Ateneum, Kansallisteatteri ja Kallion kirkko. Ratalinjauksen lähellä on myös lukuisia elokuvaseleja, kirjastoja, yliopiston luentosaleja, pienempiä kirkkoja ja muita kokoontumistiloja. Mäntymäen alueelle varaudutaan myöhemmin toteuttamaan uudisrakentamista.

Tässä artikkelissa esitetään lyhyt kuvaus Pesararadan runkomeluseelvityksestä ja kohteeseen suunnitelluista runkomelun torjuntaratkaisuksista. Pesararadan ratasuunnitelmavaiheen osana tehdyllä runkoääniselvityksellä on haluttu varmistaa, että junaliikenne ei tule aiheuttamaan runkomeluhaittoja tulevan ratalinjan ympäristössä sijaitseviin nykyisiin tai kaavoitettuihin rakennuksiin ja kohteisiin. Työhön on kuulunut runkomelun raja-arvojen selvitys, haitalle altistuvien alueiden ja kohteiden tunnistaminen, haittojen arviointi sekä tarvittavien torjuntatoimenpiteiden suunnittelu ja mitoitus.

## 2 RUNKOMELU ILMIÖNÄ

Runkomelu on pientaajuista melua, joka aiheutuu rakennusrunkoon kytkeytyneestä värähtelystä. Huonetilojen rajapinnoissa esiintyvä värähtely on niin pientä, ettei sitä aistita tuntoaistin välityksellä tärinänä. Värähtelevät pintarakenteet säteilevät kuitenkin ääntä suurten kaiutinkalvojen tavoin, ja aiheuttavat tilaan korvin kuultavaa melua.

Raideliikenteen runkomelua esiintyy tyypillisesti noin 50–200 Hz taajuusalueella. Tätä pienemmillä taajuuksilla kuuloaistin herkkyyks on niin pieni, ettei runkomelu yleensä aiheuta häiritsevää kuulohavaintoa. Suuremmilla taajuuksilla kallioperän häviöt puolestaan kasvavat jyrkästi.

### 3 RUNKOMELUN LEVIÄMINEN

Kalliotunnelissa kulkeva raideliikenne voi aiheuttaa runkomeluhaittoja tunnelin yläpuolelle ja lähiympäristöön. Kallioperä johtaa hyvin runkomelua, ja siinä etenevä värähtely vaimenee huomattavasti hitaammin kuin maaperässä. Runkomeluhaitat rajoittuvat yleensä noin 100 m etäisyydelle ratalinjauksesta alueilla, joissa rakennukset ovat kallioperustaisia. Jos rakennukset on perustettu maavaraisesti tai paalujen varaan ilman kalliokontaktia, runkomelu kytkeytyy rakennuksiin heikommin eikä runkomelualuetta välttämättä esiinny edes suoraan ratatunnelin yläpuolella. Vaihdealueilla runkomeluun liittyy myös kiskon epäjatkuvuuksista aiheutuvia kolahduksia. Näiden vaikutusalue jää kuitenkin paikalliseksi.

### 4 RUNKOMELUN ESIINTYMISTIHEYS JA PAIKALLINEN VAIHTELU

Runkomelua esiintyy vain hetkellisesti junan ohiajon aikana sen ohittaessa kohteen. Pesararadalle suunniteltu liikennetiheys on kuitenkin varsin merkittävä; radalle ollaan ohjaamassa rantaradan ja pääradan koko lähijunaliikenne, eli nykyiset K-, I-, N-, M- ja A-junat. Junien ohiajoja esiintyy käytännössä parin minuutin välein, kun linjan molemmat suunnat huomioidaan.

Yksittäisistä ohiajoista aiheutuvissa runkomelutasoissa esiintyy luonnostaan hajontaa riippuen mm. ajonopeudesta sekä kaluston pyörien ja rataosuuden kiskojen kunnosta. Runkomelutaso voi vaihdella myös eri puolilla samaa rakennusta johtuen kallioperän, etäisyyden ja maapohjan vaihtelusta sekä rakennuksen perustamistavan ja huonetilojen akustisten ominaisuuksien erilaisista toteutustavoista. Näistä syistä mitoitusrajan luokkaa olevia runkomelutasoja esiintyy vain harvoissa huonetiloissa, ja niissäkin todennäköisesti vain osassa junien ohiajoista. Useimmissa tiloissa runkomelutasot jäävät selvästi alle mitoituksessa käytettyjen tavoitetasojen. Runkomelun syntymekanismia, leviämistä ja häiriövaikutuksia on kuvattu myös julkaisuissa [1], [2] ja [3].

### 5 RUNKOMELUN TAVOITETASOT

Suomessa ei toistaiseksi ole olemassa virallisia raja- tai ohjearvoja liikenteen aiheuttamalle runkomelulle. VTT on esiselvityksessään [4] esittänyt runkomelulle tavoitetasot, jotka vastaavat Kehäradan tunneliosuuden ja Savion tunnelin suunnittelussa aiemmin käytettyjä raja-arvoja [1 ja 2].

Pesararadan ja mm. Länsimetron suunnittelussa käytetyt runkomelun tavoitetasot ovat VTT:n suosituksen kanssa yhteneväisiä, ja ne on esitetty *taulukossa 1*. Rataosuuksille tarvittava runkomelueristys on mitoitettu perustuen näiden tavoitetasojen täyttymiseen [4].

*Taulukko 1. Pesararadan suunnittelussa käytetyt runkomelun tavoitetasot  $L_{ASmax}$ .*

tilatyyppe	$L_{ASmax}$ , dB enintään
herkät kohteet	18...25 dB
asunnot	30 dB
opetus- ja neuvottelutilat	35 dB
toimistot	40 dB

Meluerkissä erityistiloissa, kuten kirkoissa ja saleissa hyväksyttävät runkomelutasot on selvitetty tapauskohtaisesti. Tavoitteena on ollut, ettei junan runkomelu aiheuta tilojen käytön kannalta merkittävää muutosta tilojen nykyiseen taustamelutasoon.

## 6 RUNKOMELUN LEVIÄMISEN ARVIOINTI

Runkomelun leviämistä on tarkasteltu laskennallisesti käyttäen Akukon Oy:n ja Vibkon Oy:n yhdessä kehittämää runkomelun laskentamallia [1]. Laskentamalli soveltuu metrojen, raitiovaunujen ja junien aiheuttaman runkomelun laskennalliseen arvioimiseen. Malli huomioi ratarakenteen ominaisuudet, kallioperän etäisyysvaimennuksen sekä kytkeytymisen kallioperästä maaperän ja perustusten välityksellä rakennukseen. Lisäksi tarkastelussa on huomioitu radalla liikennöivän kaluston pituus ja tyyppi sekä kohtaavien junien summautuva vaikutus.

Runkomelualueiden laskennassa on käytetty myös mm. kalliopinta- ja maaperätietoja, rakennusten sijainti-, käyttötarkoitus- ja perustamistapatieitoja sekä kaavaehdotusten vaikutuksia. Rakennuskohtaista arviointia varten koko tarkastelualue läpikäytiin kenttäkäynneillä, joiden avulla selvitettiin mm. rakennusten alimpien asuinkerrosten sijainti ja täydennettiin lähtötietoaineistossa esiintyneitä puutteita.

## 7 TORJUNTATARPEEN ARVIOINTI

Runkomelun alueelliset torjuntatarpeet selvitettiin mallintamalla laskennallisesti runkomelun leviäminen ympäristöön. Laskenta aloitettiin selvittämällä ensin eristämättömän radan runkomelualueet ja kohdekohtaiset runkomelutasot. *Kuvassa 2* on esimerkki tällä tavalla lasketuista kohdekohtaisista runkomelutasoista kartalle merkittynä. Laskenta kuvaa kalliovaraisesti perustetun rakennuksen alimmassa kerroksessa esiintyviä runkomelutasoja.

Kaikki runkomelualueille sijoittuvat rakennukset kartoitettiin tällä tavoin koko junalinjan osalta. Rakennukset listattiin ja niille osoitettiin niiden käyttötarkoitukseen perustuvat runkomelun tavoitetasot. Runkomelun rakennuskohtaiset torjuntatarpeet muodostettiin tämän jälkeen laskemalla kallion pinnassa esiintyvät eristämättömän radan runkomelutasot kunkin rakennuksen kohdalle ja arvioimalla rakennuksen perustamistavasta ja mahdollisista kellaritai pohjakerroksista aiheutuvan vaimennuksen vaikutukset.

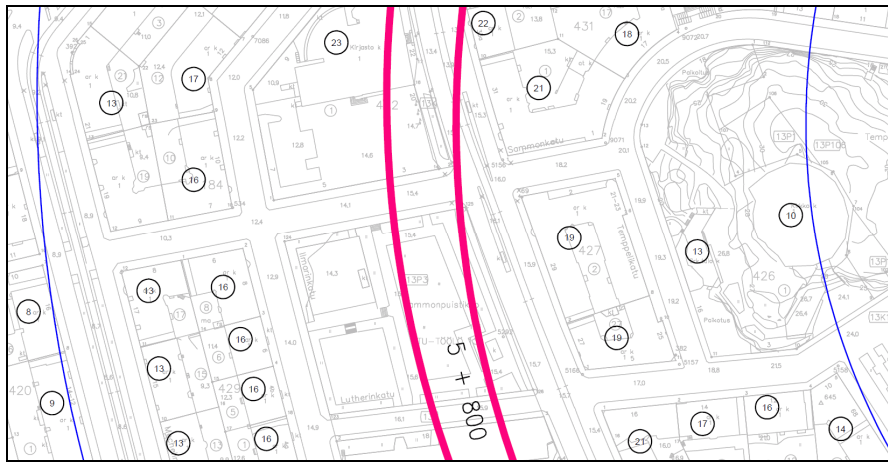


*Kuva 2. Esimerkki eristämättömän radan ympäristöön lasketuista rakennuskohtaisista runkomelutasoista Temppeliaukion kirkon läheisyydessä. Siniset viivat rajaavat 150 m alueet kummastakin ratalinjasta.*

## 8 ERISTYSTEN MITOITUS

Radan eristystarve mitoitettiin tämän jälkeen raide- ja ratasegmenttikohtaisesti niin, että kaikkien altistuvien kohteiden runkomelutasot saatiin tavoitearvojen alapuolelle. Myöhemmin rakennettaviksi osoitetuilla alueilla mitoituksen lähtökohdaksi otettiin, että runkomelu ei ylitä asuin- tai toimistotilojen suositusarvoja olettaen, että rakennusten perustukset viedään kallioon asti. Eristysten sijoittelua ja eristysluokkien mitoitusta optimoitiin tässä yhteydessä laskennallisesti.

*Kuvassa 3 on esimerkki torjuntamitoituksen myötä lasketuista kohdekohtaisista runkomelutasoista.*



*Kuva 3. Esimerkki rakennuskohtaisista runkomelutasoista, kun samalle rataosuudelle on mitoitettu eristys.*

## 9 ERISTYSRATKAISUT

Pisararadan tunneliosuudella kulkeva ratalinjaus eristetään lähes kauttaaltaan. Nykyisellä raiteistolla kulkeva junaliikenne aiheuttaa avoradan ympäristössä jo nykytilanteessa runsaasti runkomelua, johon Pisararadan rakentamisen yhteydessä ei voida vaikuttaa. Avoradan lähellä olevien herkkien kohteiden kohdalla Pisararata kuitenkin eristetään, jotta runkomelu ei lisääny nykytilanteeseen verrattuna.

Eristysratkaisuna käytetään ratarakenteisiin sijoitettavia sepelinalusmattoja. Eristysten sijoitusperiaate on esitetty *kuvassa 4*. Eristykset on ratasuunnitelmaperusteisesti jaettu kolmeen eri vaatimusluokkaan (10 dB, 12 dB ja 16 dB), jotka kuvaavat eristysmateriaalilla saavutettavaa lisäsvaimennusta junaradan ympäristössä esiintyviin runkomelutasoihin.

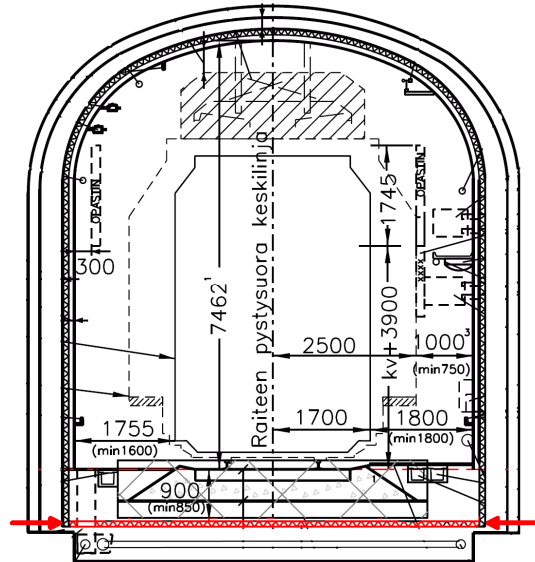
Pisararadan molemmilla raiteilla on eristettävää rataa yhteensä 13,6 km. Eristysmateriaalia tarvitaan noin 68 000 m<sup>2</sup>, josta 10 dB luokan eristystä on 40 %, 12 dB eristystä 30 % ja 16 dB eristystä noin 30 %. Eristysten suuren määrän vuoksi niiden materiaalikustannukset ovat useita miljoonia euroja.

Eristystuotteiden valmistajien tuote-esitteiden antamat testaustulokset ovat varsin vaihtelevia ja keskenään vaikeasti vertailtavia. Tästä syystä Pisararadan eristeiden staattisille ja dynaamisille värähtelytekniisille ominaisuuksille muodostettiin eristysluokkakohtaiset numeeriset vaatimukset, jotka asetettiin osaksi materiaalien teknisiä hankintakriteerejä.



Näiden täytyminen varmistettiin edellyttämällä valmistajat testaamaan tuotteensa kyseiset ominaisuudet standardin DIN 45673-5 [6] mukaisilla testeillä. Lisäksi eristemateriaalien ominaisuuksia voidaan nykyään mitata myös Vibkon Oy:n omalla laitteistolla. Näin voidaan tehokkaasti varmistaa tuote-erien laadun säilyminen pitkän projektin aikana.

Pisarraradan rakentamissuunnittelu valmistuu näillä näkymin alkuvuodesta 2017.



Kuva 4. Runkomelueristyksen sijoitusperiaate ratatunnelin tyyppipoikkileikkauksen luonnoksessa. Eristyskerros on merkitty kuvaan nuolilla.

## VIITTEET

- [1] PELTONEN T. & BACKHOLM M., Raideliikenteen runkomelun mallintaminen ja arviointi. Akustiikkapäivät 2009, 14.-15.5.2009, Vaasa.
- [2] PELTONEN T., BACKHOLM M. & LAHTI T., Raideliikenteen melu- ja värinäätutkimuksia. Akustiikkapäivät 2005, 26.-27.9.2005, Kuopio.
- [3] TALJA A. & SAARINEN A., Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. VTT Tiedotteita 2468, Espoo 2009.
- [4] PELTONEN T., BACKHOLM M., Länsimetron runkomeluseelvitys ja eristysratkaisut. Akustiikkapäivät 2013, 22.-23.5.2013, Turku.
- [5] PELTONEN T. et al., Pisarrarata, Raideliikenteen runkomeluseelvitys. Ratasuunnitelmavaihe. Akukon Oy, 24.9.2014.
- [6] 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.).