

TAMPEREEN RAITIOTIE
LÄNTINEN HAARA PYYNIKINTORI - LENTÄVÄNNIEMI
RUNKOMELU JA TÄRINÄMUISTIO

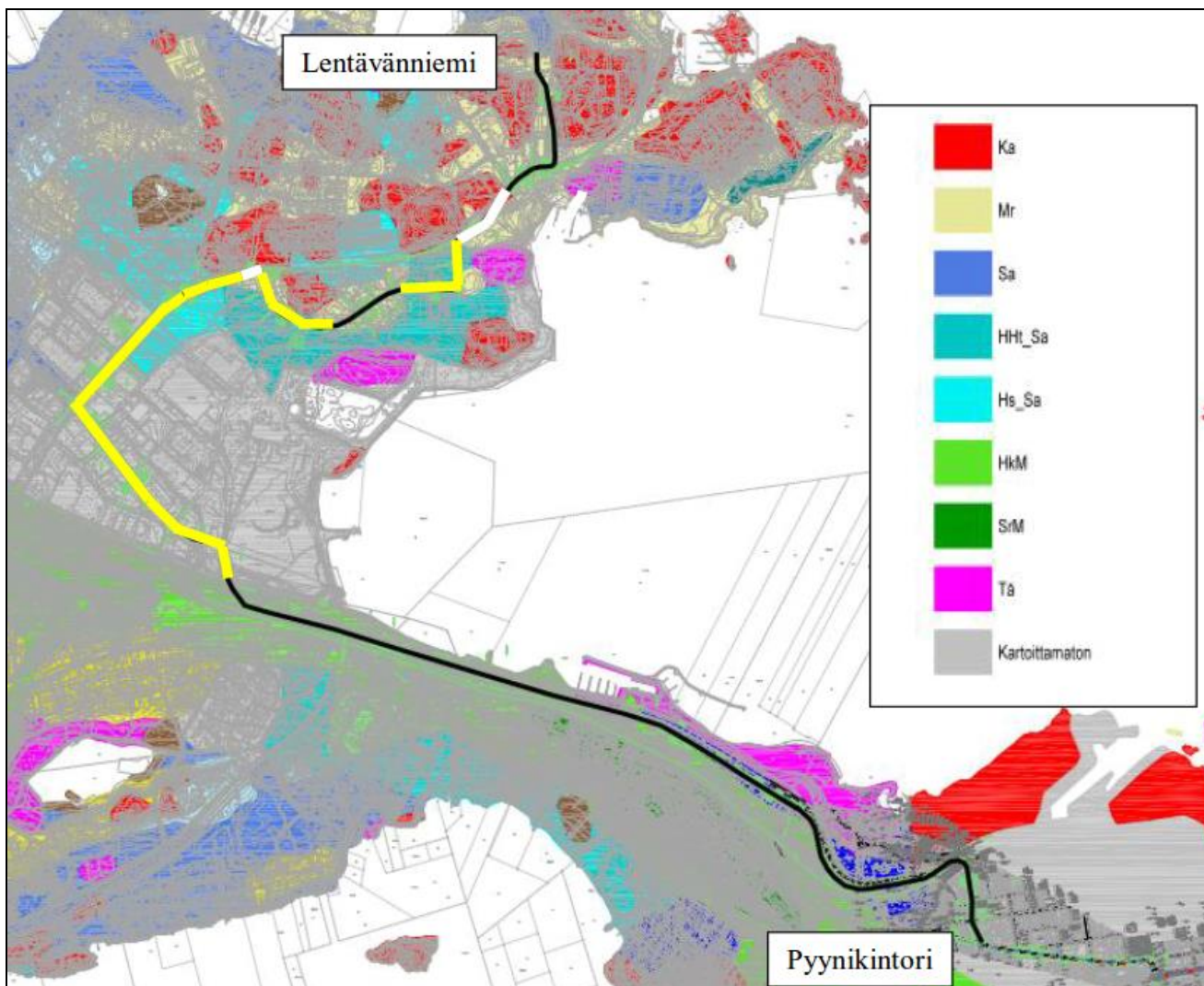
27.5.2016

SISÄLLYS

1	TEHTÄVÄ	3
2	RUNKOMELU	4
2.1	Runkomelun synty	4
2.2	Runkomelun ohjearvot	4
2.3	Runkomelun arvioiminen	5
2.4	Runkomelun riskiarvio välillä Pyynikintori – Lentävänniemi	7
3	TÄRINÄ	8
3.1	Tärinän synty	8
3.2	Tärinän suositusarvot	8
3.3	Tärinän arvioiminen	9
3.4	Tärinän riskiarvio välillä Pyynikintori – Lentävänniemi	9
4	YHTEENVETO	10

1 TEHTÄVÄ

Muistiossa käsitellään alustavasti Tampereen raitiotien ns. läntisen haaran Pyynikintorilta Lentävänniemeeseen runkomelu- ja tärinäriskialueita. Linjan nykyinen suunnitelma on esitetty maaperäkarttapohjalla kuvassa 1.



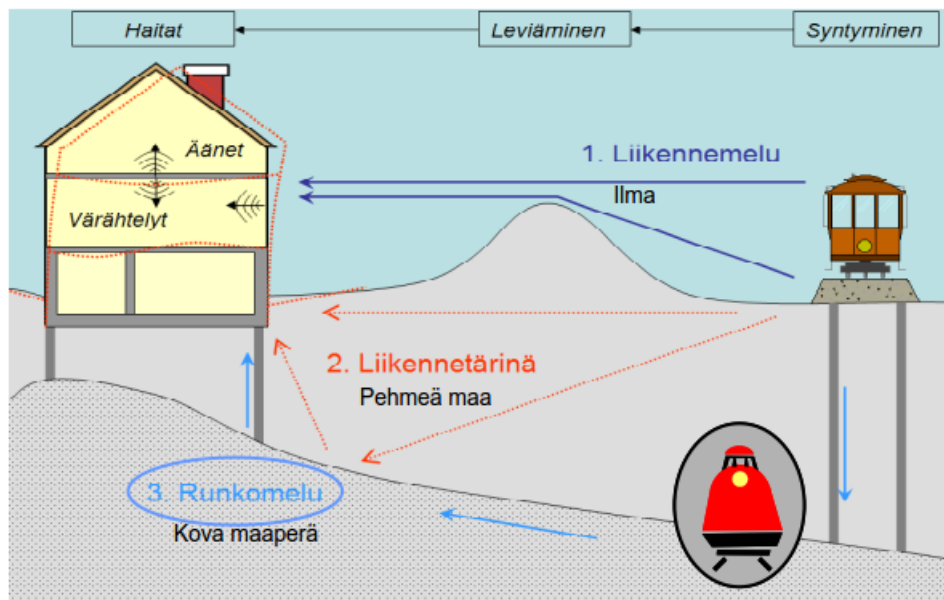
Kuva 1. Läntisen haaran linjaus Lentävänniemestä Pyynikintorille maaperäkarttapohjalla. Valkoisella viivalla on merkitty runkomelun ja vastaavasti keltaisella viivalla tärinän arvioidut riskialueet.

Työ pohjautuu runkomelun osalta julkaisuun: Talja, A. ja Saarinen, A. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, I Esiselvitys, VTT:n tiedotteita 2468, 2009 ja tärinän osalta VTT tärinään liittyviin julkaisuihin ja suosituksiin sekä muistion laatijan kokemuksiin arvioitavista asioista.

2 RUNKOMELU

2.1 Runkomelun synty

Runkomelu tai runkoääni on maankamaran kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu ihmisen aistimaksi ääneksi (kuva 2). Koska ihmisen kuulokynnyksen alin taajuus on yleensä 16 Hz, on runkomelun taajuusalue verrattain korkea 16 – 250 Hz verrattuna yleensä haitalliseksi koettuun matalataajuiseen liikennetärinäan, noin 3 – 50 Hz.



Kuva 2. Runkomelun syntyminen maankamaran värähtelystä eli tärinästä (VTT 2009).

Runkomelun taajuusalueella värähtely syntyy kiskon ja junan pyörien kosketuksen aiheuttamasta värähtelystä. Värähtely siirtyy maankamarasta läheisten rakennusten perustuksiin. Perustuksesta ääni etenee rakennuksen runkorakenteita pitkin huonetilojen seinä-, välipohja- ja yläpohjarakenteisiin. Rakenneosien värähtely synnyttää huonetilan pinnoista äänen säteilyä, joka etenee ilmassa paineaaltoina ja joka on aistittavissa äänenä.

Rakenneosien värähtely voi aiheuttaa myös asunnossa olevien varusteluosien ja kalusteiden kilinää, helinää tai kolinaa, mutta näitä välillisiä vaikutuksia ei lueta runkoääneksi, vaan niitä pidetään tärinän ilmenemismuotoina. Runkomeluun liittyvä värähtely on voimakkuudeltaan niin pientä, ettei sitä voi havaita rakennuksen tärinäanä, eikä se aiheuta vaaraa rakenteille.

Runkomelun verrattain korkean taajuuden (16 – 250 Hz) vuoksi pehmeissä maapohjissa, kuten savissa ja silteissä, runkomelu vaimenee nopeasti. Runkomeluriski on suurin kalliolle ja tiiviille moreenille perustetuissa rakennuksissa.

2.2 Runkomelun ohjearvot

Maaperäinen runkoääni kuuluu kumuna, joka voi muistuttaa kaukana olevan ukkosen aiheuttamaa jylinää. Asuinrakennuksissa runkomelu voi riittävän voimakkaana ja toistuvana häiritä etenkin yöunta. Se voi olla myös muuten häiritsevää, jos esimerkiksi liikenteen tai sisätilojen taustamelu ei peitä sen vaikutusta. Runkomelu voi olla erityisen

häiritsevää konsertti- ja juhlasaleissa tai muissa erityistä hiljaisuutta vaativissa kohteissa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Runkomelun häiriövaikutus (VTT 2009).

Äänenpainetaso (dB) ¹	Subjekttiivinen kokemus
alle 25	Ääni ei ole yleensä havaittavaa.
25–35	Pieni häiriövaikutus. Melu voi olla hyväksyttävissä nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa (mm. asunnot, hotellit, sairaalat).
35–45	Kohtalainen häiriövaikutus. Äänet ovat liian voimakkaita nukkumiseen tarkoitettuihin tiloihin.
yli 45	Suuri häiriövaikutus. Melu koetaan häiritsevänä useimmissa häiriöttömyyttä vaativissa tiloissa.

Suomessa ei ole runkomelulle annettu raja- tai ohjearvoja. Taulukossa 2 on esitetty suositus Suomessa käytettävistä runkomelutasojen raja-arvoista. Suosituksen raja-arvoja asetettaessa tavoitteena on ollut häiriövaikutuksen rajoittaminen minimiin. Arvot täyttävät valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön ja Suomen rakennusmääräyskokoelmassa annetut suurimmat sallitut äänitasot asunnossa.

Taulukko 2. Suositus runkomelutasojen ohjearvoiksi (VTT 2009). Yläindeksi 2 viittaa avoratoihin.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm} [dB]
Radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttitalit	25–30
Asuinhuoneistot	30/35 ²
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat <ul style="list-style-type: none"> • potilashuoneet, majoitustilat • päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitettut huoneet 	30/35 ²
Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> • luokahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä • muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot 	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45 ²

Avoradoilla ohjearvo on korkeampi kuin tunneliradoilla. Tämä johtuu siitä, että avoratojen ympäristössä on yleensä muutakin ääntä, kun vastaavasti tunneliradoilla runkomelu voi olla hallitsevampaa muihin ääniin verrattuina.

2.3 Runkomelun arvioiminen

VTT julkaisussa runkomelun arviointi voidaan tehdä kolmella tavalla. Arviointitaso 1 perustuu turvaetäisyyksiin. Arviointitaso 2 perustuu värähtelyn siirtotien arviointiin ja arviointitaso 3 mittauksiin. Tässä muistiossa arviointi on tehty tason 1 ja 2 mukaisesti.

Arviointitaso 1

Taulukossa 3 on esitetty turvaetäisyyksiä liikennetyypin ja maankamaran laadun perusteella. Tampereen raitiotien aiheuttama runkomelu sijoittunee taulukon raitiovaunun ja metron välille.

Taulukko 3. Väylän ja rakennuksen välinen etäisyys, jota kauempana väylästä tarkempi tarkastelu ei ole yleensä tarpeen. Maapohja on oletettu samaksi väylän ja rakennuksen alla ja sen paksuudeksi vähintään 3 metriä VTT 2009).

Liikennetyyppi	Maapohja, väylän sijainti ja runkomelutason raja			
	pehmeä maa, pintaväylä, 35 dB	kova maa, pintaväylä, 35 dB	kallio, tunneli, 30 dB	kallio, pintaväylä, 35 dB
Tieliikenne, 50 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	< 5 m
Tieliikenne, 100 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	5 m
Raitiovaunu, 40 km/h	< 5 m	15 m	50 m	120 m
Metro tai lähijuna, 80 km/h	< 5 m	30 m	90 m	160 m
Lähijuna, 160 km/h	10 m	60 m	130 m	200 m
Sähkömoottorijuna, 220 km/h	15 m	70 m	150 m	>200 m
IC-juna, 160 km/h	40 m	130 m	200 m	>200 m
Tavarajuna, 100 km/h	60 m	160 m	>200 m	>200 m

Taulukon 3 perusteella pehmeillä maapohjilla ei ole yleensä häiritsevän runkomelun riskiä. Suoraan kalliolle perustettujen rakennusten riskialue voi ulottua radasta jopa 150 metrin etäisyydelle.

Arviointitaso 2

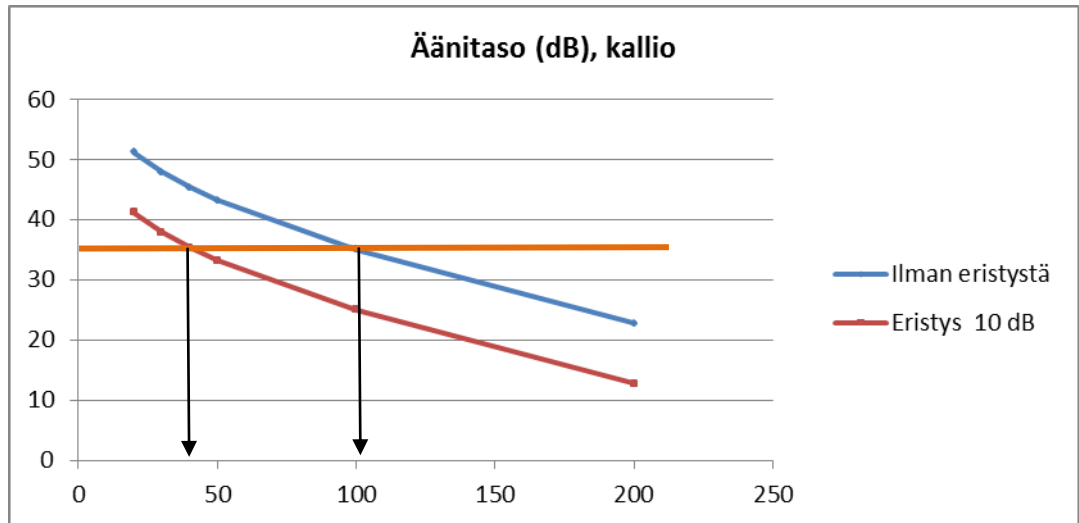
Arviointitason 2 käyttö on perusteltua, jos runkomeluriski arviointitason 1 perusteella kohoaa suureksi. Tason 2 värähtelyn siirtotiehen perustuva arviointi on yksityiskohtaisesti esitetty VTT:n julkaisussa. Tässä esitetään ainoastaan arvioinnin perusteet ja tulokset.

Tässä muistiossa arviointi perustuu normaalijousitettuun sähkömoottorijunaan, jonka suurin nopeus on 100 km/h. Radan kunto on hyvä ja kiskojen alla on joustavat aluslevyt. Kun rakennukset ja rata on perustettu tiiviille maapohjalle, kuten moreenille, on ohjearvon 35 dB runkomelun arvioitu riskialue radasta noin 20 metriä, kun eristystä ei ole

Kuvassa 3 on esitetty siirtotiehen perustuvien laskentojen tulokset, kun rakennukset ja rata on perustettu kalliolle. Kuvassa on esitetty myös tavanomaisen raidesepelin alle asennetun pehmeän eristeen 10 dB:n vaikutus runkomeluun (kuva 4).

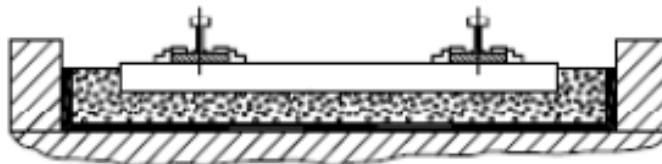
Tehdyssä selvityksessä, jossa tutkittiin 100 mm routaeristyksen vaikutusta runkomelun eristämiseen, päädyttiin siihen että routaeriste eristää runkomelua noin 10 dB.

Eristysvaikutukseen vaikuttaa radan rakenteen lisäksi pohjamaa ja tarkasteltava taajuusalue.



Kuva 3. Arviointitasoon 2 perustuva runkomelun riskialue, kun rakennukset on perustettu kalliolle. Vaaka-akselilla on etäisyys (m).

Kalliolle perustettujen rakennusten runkomelun riskialue ulottuu noin 100 metrin etäisyydelle radasta, kun eristystä ei ole. Eristettäessä riskialue supistuu noin 40 metriin. Tarvittaessa käytetään tehokkaampaa eristämistä, joilla voidaan päästä noin 15 – 20 dB eristysvaikutukseen.



Kuva 4. Radan runkomelun eritys sepelikerroksen alla (VTT 2009).

Siirtotiehen perustuvaa arviointia voidaan tarkentaa, kun arvioinnin edellyttämät lähtötiedot on tarkemmin selvitetty.

2.4 Runkomelun riskiarvio välillä Pyynikintori – Lentävänniemi

Runkomelunriskialueiksi on arvioitu ne väyläosuudet, jotka sijoittuvat kalliolle tai sen välittömään tuntumaan. Nämä riskialueet on merkitty kuvan 1 karttapohjalle valkoisella viivalla. Kahden riskialueen yhteispituus on noin 300 metriä.

Näillä alueilla on varauduttava runkomelun vähentämiseen, mikäli nykyiset asuinrakennukset ovat lähempänä kuin 100 metrin etäisyydellä väylästä tai mikäli alueille suunnitellaan uusia asuinrakennuksia.

3 TÄRINÄ

3.1 Tärinän synty

Tärinä on maankamaran kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka aistitaan tuntoaistilla (kuva 2). Häiritsevän liikennetärinän taajuus on yleensä 3 – 50 Hz.

Kulkuneuvon akselit aiheuttavat ”ohitustaajuudella” tärinää taajuudella noin 3 – 12 Hz. Tämä alhaisella taajuudella maassa liikkuva tärinä voi vahvistua hienorakeisissa maapohjissa ja aiheuttaa 1 – 2 kerroksisen pientalon koko rungon resonanssivärähtelyn vaakasuunnassa.

Taajuudeltaan noin 10 – 50 Hz tärinä syntyy ratapölkkyjen, ajoneuvon jousitusten, ajoradan epäjatkuvuuskohtien yms. aiheuttamista herätteistä. Tämä keskitaajuuksilla maassa liikkuva tärinä voi vahvistua kiinteissä irtorakeisissa maapohjissa ja aiheuttaa erityisesti rakennusten välipohjien värähtelyä pystysuunnassa.

Suurimman tärinän aiheuttaa raskasliikenne ja pitkät kulkuneuvot kuten tavarajunat. Tärinää kasvattavat suuret ajonopeudet erityisesti pehmeillä maapohjilla.

Liikennetärinä ei aiheuta rakenteellisia vaurioita tavanomaisessa kunnossa olevissa rakennuksissa tai rakenteissa. Sen sijaan se voi olla haitallista herkille laitteille tai toiminnoille.

3.2 Tärinän suositusarvot

Suomessa noudatetaan liikennetärinälle yleensä VTT:n ohjeita ja suositusarvoja (taulukko 1). Niiden laadinnassa on otettu huomioon ihmisten kokema häiriö asuinrakennuksissa. Suurin tärinähäiriö koetaan yleensä öisin. Uusien väylien rakentamisen yhteydessä noudatetaan yleensä värähtelyluokan C arvoja. Taulukon arvoja ei sovelleta rakennuksiin, joissa ihmiset ovat liikkeessä kuten esimerkiksi toimisto, kahvilat, ostoskeskukset ym.

Taulukko 1. Suositus tärinän ohjearvoiksi ja luokitukseksi ohjearvoiksi (Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta, VTT Tiedotteita 2278, Espoo 2004).

Värähtely-luokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	$V_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyitä.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet <i>Ihmiset voivat havaita värähtelyt, mutta ne eivät ole häiritseviä.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa <i>Keskimäärin 15% asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä.</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. <i>Keskimäärin 25% asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä.</i>	$\leq 0,60$

3.3 Tärinän arvioiminen

Liikennetärinän suuruutta arvioidaan uusien väylähankkeiden suunnittelussa 1. turvaetäisyyksien, 2. laskentamallien tai 3. vertailukelpoisissa olosuhteissa tehtyjen mittausten perusteella.

Arviointitaso 1

Arviointitaso 1 perustuu VTT:n määrittelemiin turvaetäisyyksiin. VTT:n julkaisuissa ei ole esitetty turvaetäisyyttä raitiotieliikenteelle. Kevyin arvioitu kulkuneuvo on pikajuna (40 km/h, 500 tn). Pikajunan aiheuttaman tärinän turvaetäisyys on kiinteillä maapohjilla noin 20 metriä ja pehmeillä vastaavasti noin 50 metriä. Huomattavasti kevyemmän ja lyhyemmän raitiovaunun aiheuttama tärinätaaso voidaan arvioida selvästi pikajunan aiheuttamaa tärinätaaso alhaisemmaksi, jolloin myös turvaetäisyydet ovat selvästi pienempiä.

Arviointitasoa 1 käytetään maakuntakaavan tai yleiskaavan tärinäriskitarkasteluissa ja myös muissa alustavissa tarkasteluissa.

Arviointitaso 2

Arviointitaso 2 käyttö perustuu turvaetäisyyksien lisäksi laskennallisiin tarkasteluihin ja paikan päällä tehtäviin tarkentaviin mittauksiin. Arviointitasoa 2 voidaan käyttää, kun yleiskaavassa tai asemakaavassa rakentamista ohjataan yksityiskohtaisesti ja arviointitaso 1 perusteella alue on riskialuetta. Arviointitasoon 2 laskennallisiin menetelmiin sisältyy usein niin suuria epävarmuuksia, että tärinämittauksiin perustuva arviointitaso 3 on usein perusteltua.

Arviointitaso 3

Arviointitasoa 3 käytetään erityisesti silloin, kun tärinän arvioidaan vahvistuvan merkittävästi rakennuksissa. Arviointitaso 3 perustuu tarkempiin rakennuspaikkakohtaisiin tärinämittauksiin ja rakennusten värähtelytarkasteluihin.

3.4 Tärinän riskiarvio välillä Pyynikintori – Lentävänniemi

Koska raitiotietärinämittauksia on tehty vähän, VTT:n ohjeissa ei ole annettu raitiotieliikenteelle turvaetäisyyksiä ja ei myöskään esitetty laskentamallia tärinän arvioimiseksi, raitiovaunuliikenteen tärinän arvioinnin täytyisi tapahtua vertailukelpoisissa olosuhteissa tehtyjen mittausten perusteella.

Kun tärinämittauksiakaan ei ole käytössä, arviointi perustuu asiantuntijan näkemykseen. Asiantuntijan arviointi perustuu kokemuksiin, mittauksiin ja tutkimuksiin liikennetärinän luonteesta ja ominaisuuksista: lähinnä tärinän syntymisestä, leviämisestä maankamarassa ja siirtymisestä rakenteisiin ja rakenteissa.

Tärinäriskialueiksi on arvioitu ne väyläosuudet, jotka sijoittuvat hienorakeisten kerrostumien alueelle. Nämä varovaisesti arvioidut riskialueet on merkitty kuvan 1 karttapohjalle keltaisella viivalla. Tärinäriskiä vähentää käytännössä merkittävästi se, että riskialueeksi määritellyn väylän ympäristössä on vähän asuinrakennuksia ja erityisesti pientaloja.

On luultavaa, että todellisuudessa tärinäriskialue supistuu olennaisesti. Tämä selviää sen jälkeen, kun tarkempia tietoja raitiovaunuliikenteen aiheuttamasta tärinästä vertailukelpoisissa olosuhteissa on käytettävissä.

4 YHTEENVETO

Kuvassa 1(sivu 3) on esitetty alustavasti arvioidut runkomelu- ja tärinäriskialueet. Riskialueiden laajuutta voidaan tarkentaa, kun kokemukset raitiotieliikenteen vertailukelpoisissa olosuhteissa aiheuttavista runkomelu- ja tärinätasoista lisääntyneet.

Runkomeluriskialueeksi on määritelty alueet, joilla rakennukset ja rata voivat olla kalliolla. Arviointi perustuu asunnoille suositeltuun ohjearvoon 35 dB. Arvioinnissa ei ole otettu huomioon vaativia toimintoja tai tiloja, jotka ovat erityisen herkkiä runkomelulle.

Tärinäriskialueiksi on arvioitu ne väyläosuudet, jotka sijoittuvat hienorakeisten kerrostumien alueelle. Tärinäriskiä vähentää käytännössä merkittävästi se, että riskialueeksi määritellyn väylän ympäristössä on vähän asuinrakennuksia ja erityisesti pientaloja.

Vaihtoehtoinen linjaus, joka sijoittuisi Lielahden vesialueelle suunnitellun täytölle, ei aiheuta runkomelu- tai tärinäriskiä, olettaen että väylä rakennetaan lähes painumattomaksi suunnitellusti rakennetun louhetäytön varaan.

Tarkemmilla pohjatutkimustiedoilla voidaan sekä runkomelu- että tärinäriskin arvioinnin tarkkuutta merkittävästi parantaa.

Lappeenrannassa 27. toukokuuta 2016



Matti Hakulinen
Geotekninen erityisasiantuntija, TkL

Pöyry Finland Oy