

Runkomelu- ja tärinäselvitys KAS 2-vaihe

Donna-ID: 3 237 785

17.5.2019

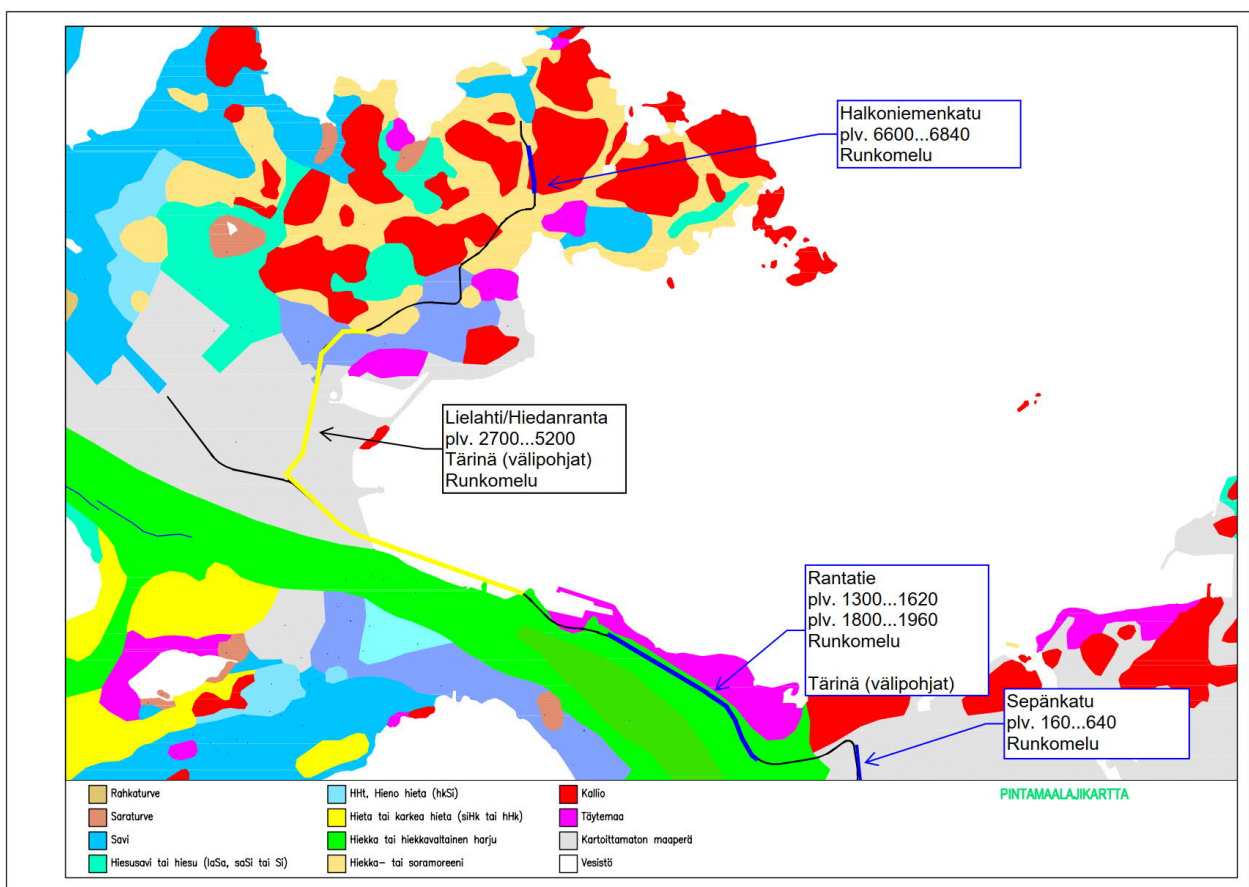
Sisällys

1. Tampereen raitotiehankeen KAS2-vaihe.....	3
2. Runkomelu	5
2.1. Runkomelun synty	5
2.2. Runkomelun ilmeneminen ja ohjearvot	6
2.3. Runkomelun arvioiminen.....	7
3. Tärinä	15
3.1. Tärinän synty	15
3.2. Tärinän suositusarvot.....	16
3.3. Tärinän arvioiminen	17
3.4. Tärinän riskinarviointi raitiotielinjalla.....	18
4. Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet toteutusvaiheessa.....	20
Liitteet	23

1. Tampereen raitiotiehankkeen KAS2-vaihe

Tampereen raitiotiehankkeen 2-vaihe Pyynikintorin ja Lentävänniemen väliselle rataosuudelle on kehitysvaiheessa. Kehitysvaiheen arvioidaan kestävän vuoden 2020 loppuun. Raitiotien toinen osa on alustavasti tarkoitus rakentaa vuosina 2021-2024. Hanke toteutetaan allianssimallilla. Selvitys palvelee raitiotien osan 2, väli Pyynikintori-Lentävänniemi, katusuunnitelmia ja asemakaavoja.

Tässä selvityksessä käsitellään KAS2-vaiheen runkomelu- ja tärinäriskialueita. Linjan suunnitelma on esitetty maaperäkarttapohjalla kuvassa 1.



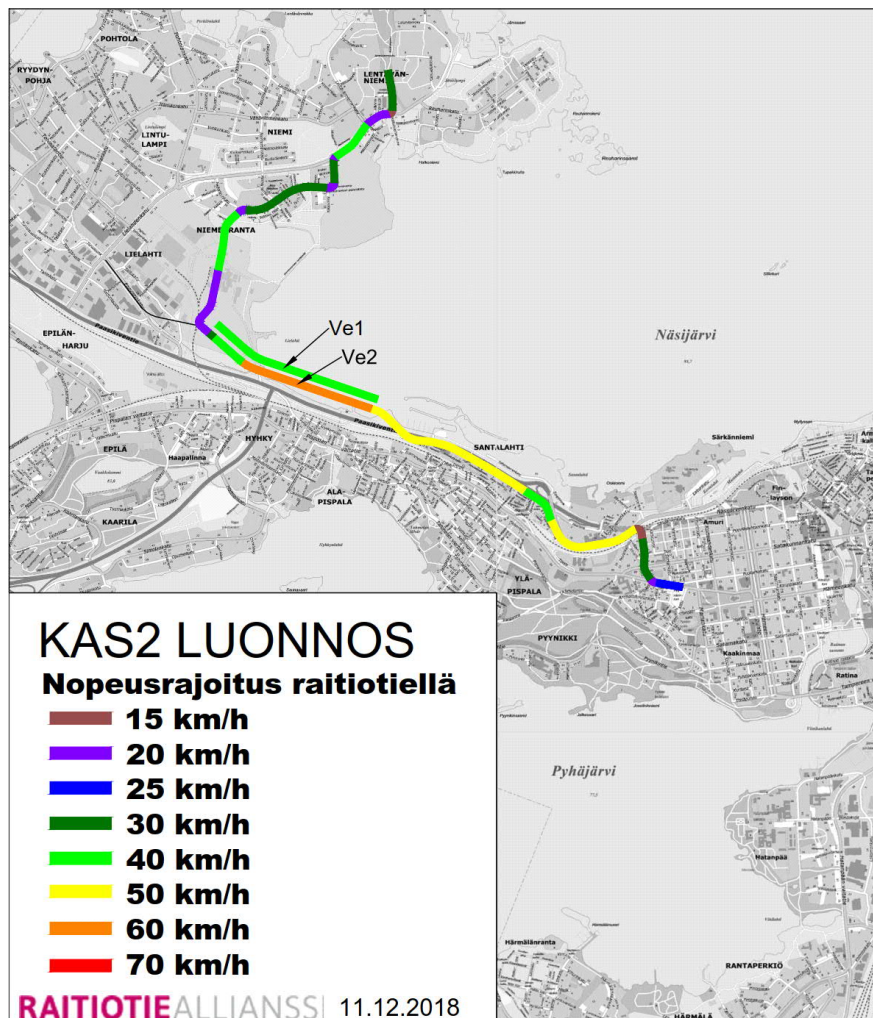
Kuva 1. Raitiotien KAS2-vaiheen linjaus maaperäkarttapohjalla. Sinisellä viivalla on merkitty runkomeluriskit tulevassa maankäytön suunnittelussa. Keltaisella viivalla on esitetty tärinän arvioidut riskialueet, jotka täytyy ottaa huomioon tulevassa maankäytön suunnittelussa. Tärinän riskialueilla on myös alhainen runkomeluriski.

Raitiotie rakennetaan erilaisille päällysrakennetyypeille riippuen sen paikasta muun infrastruktuurin keskuudessa. Tässä selvityksessä päällysrakennetyypit on jaettu kahteen osaan: kiintoraiteisiin ja pölkkyraiteisiin. Kiintoraiteisiin kuuluvat raitiotieväylät, sekalikenneväylät, sekä viherraitteet. Pölkkyraiteisiin kuuluu sepeliradat. Taulukossa 1 on esitetty päällysrakennetyypit paaluväleittäin.

Taulukko 1. Raitiotien KAS2-linjauksen päällysrakennetyyppi paaluluvuittain.

Alkupaalu	Loppupaalu	Päällysrakennetyyppi
0	710	Kiintoraide
710	1590	Pölkkyraide
1590	2370	Kiintoraide
2370	2890	Pölkkyraide
2890	4820	Kiintoraide
4820	5010	Pölkkyraide
5010	6990	Kiintoraide
Lielahतिकeskuksen haara		
4200	5073	Kiintoraide

Raitiovaunun suurimmaksi nopeudeksi on määritetty 70 km/h. Tätä ei kuitenkaan ajeta koko aikaa raitotielinjauksella. Kuvassa 2 on merkattu alustava suunnitelma raitiotien nopeusrajoituksista värikoodattuna yleiskartalle. Hiedanrannan täytöllä on kaksi erillistä nopeutta riippuen Hiedanrannan lopullisesta asemakaavasta.



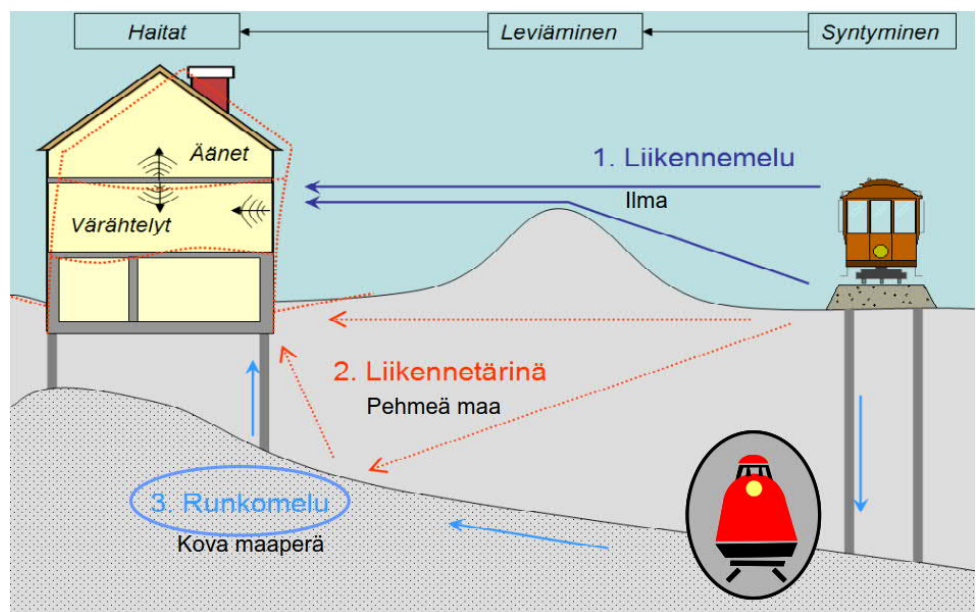
Kuva 2. KAS2-vaiheen nopeusrajoitukset yleiskartalle piirrettynä.

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:n tärinään liittyviin julkaisuihin ja suosituksiin sekä selvityksen laatijoiden kokemuksiin arvioitavista asioista.

2. Runkomelu

2.1. Runkomelun synty

Runkomelulla tai runkoäänellä tarkoitetaan maankamaran kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu ihmisen aistimaksi ääneksi (kuva 2). Ihmisen kuulokynnyksen alin taajuus on noin 20 Hz. Maaliikenteestä aiheutuva runkomelu taas yleensä esiintyy taajuusalueella 16-250 Hz, jolloin runkomelun taajuusalue on verrattain korkea verrattuna yleensä haitalliseksi koettuun matalataajuiseen liikennetärinään, noin 3 – 50 Hz. Runkomelun kannalta merkittävimmät värähtelyn taajuudet ovat tyypillisesti alle 100 Hz, mikä johtuu rakennusosien vasteesta värähtelyn aiheuttamalle heränteelle. Häiritseviä äänitasoja voi esiintyä myös yli 250 Hz taajuuksilla, jos rakennus on kiinteässä yhteydessä kallioon tai hyvin lähellä sitä tai jos rakennus sijaitsee hyvin lähellä väylää.



Kuva 3. Runkomelun syntyminen maankamaran värähtelystä eli tärinästä (VTT 2009).

Runkomelu syntyy kiskon ja raitiovaunun pyörien kosketuksesta aiheuttamasta värähtelystä, joka välittyy väylän alusrakenteiden ja maaperän kautta 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 kalusteiden ja varusteluosien kilinää, helinää ja kolinaa. Näitä välillisiä vaikutuksia ei kuitenkaan lueta

runkoääneksi, vaan niitä pidetään tärinän ilmenemismuotoina. Runkomeluun liittyvä värähtely on voimakkuudeltaan niin pientä, ettei sitä voi havaita rakennuksen tärinänä, eikä se aiheita minkäänlaista vaaraa rakenteille.

Runkomeluhaitta on yleensä suurin tilanteissa, joissa sekä väylän, että rakennuksen perustukset ulottuvat suoraan peruskallioon tai kovaan kitkamaahan. Pehmeissä maapohjissa kuten savissa ja silteissä runkomelu vaimenee nopeasti sen verrattain korkean taajuuden (16 – 250 Hz) vuoksi.

2.2. Runkomelun ilmeneminen ja ohjearvot

Maaperän runkoääni kuuluu ihmiselle pienitaajuisena kumuna, joka voi muistuttaa kaukana olevan ukkosen aiheuttamaa jylinää. Asuinrakennuksissa runkomelu voi riittävän voimakkaana ja toistuvana jyllinä häiritä asumista ja etenkin yöunta. Se voi olla normaalissakin tilanteessakin 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. Runkomelun kiusallisuus riippuu äänitasosta, häiriön toiston määrästä, melun taajuussisällöstä sekä tarkasteltavan tilan taustamelutasosta. Runkomelun häiriövaikutusta asuinrakennuksissa voidaan kuvata esimerkiksi taulukon 2 avulla.

Taulukko 2. Runkomelun häiriövaikutus (VTT 2009). Yläindeksi 1 viittaa "Slow"-aikavakioon perustuvaan enimmäisäänitasoon L_{pASmax} .

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 annettu ohje- tai raja-arvoja maa- ja tunneliliikenteen runkomelulle. Suomessa tehdyissä runkomeluselvityksissä ohjearvona asuinrakennuksilla avoradoilla on tyypillisesti kuitenkin käytetty rajaa $L_{pASmax} \leq 35$ dB. Taulukossa 3 on esitetty VVT:n tiedotteen "Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi" suositus Suomessa käytettävistä runkomelutasojen raja-arvoista. Suosituksen raja-arvoja asetettaessa tavoitteena on ollut häiriövaikutusten rajoittaminen minimiin. Arvot täyttävät valtioneuvosto, sosiaali- ja terveysministeriön ja Suomen rakennusmääräyskokoelman antamat suurimmat sallitut äänitasot asunnossa.

Taulukko 3. Suositus runkomelutasojen ohjearvoiksi (VTT 2009). Yläindeksi 2 viittaa avoratoihin.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso $L_{p_{rm}}$ [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 tarkoitetut huoneet 	30/35 ²
Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> luokkahuoneet, 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, koska avoratojen ympäristössä on yleensä muutakin ääntä ja taustamelua, kun vastaavasti tunneliradoilla runkomelu voi olla hallitsevampi muihin ääniin verrattuna.

2.3. Runkomelun arvioiminen

Runkomeluriskit korostuvat pohjoismaisissa maankamaraolosuhteissa, joissa luja kallio nousee monin paikoin maanpinnalle ja joissa maa-aines jäätyy roudaksi erityisesti lumipeitteettömien väylien kohdalla.

Kalliolle perustetuilla avoradoilla värähtelyn siirtotie katkeaa useammin kuin tunneleissa maankamaran epäjatkuvuuskohdissa. Harvoin radan alusrakenne on välittömästi kalliolla, koska kallionpinta vaihtelee ja sen pintaosissa on lisäksi enemmän halkeamia ja heikkousvyöhykkeitä kuin yleensä tunneliradan yläpuolella olevassa kalliossa. Merkittävät halkeamat, kallionpinnan vaihtelu ja heikkousvyöhykkeet vähentävät runkomelun aiheuttavaa värähtelyä. Tästä syystä avoradan runkomeluriskin arviointi on tunnelirataa vaativampaa.

Pääosa raitiotien KAS2-vaiheen linjauksesta tehdään kiintoraiteena. Koko linjaukselle kiintoraiteen sekä pölkkyraiteen alle tehdään routaeristys, jonka voi olettaa vähentävän runkomelua VTT:n lausunnon mukaan 10 dB (Liite 1).

VTT:n julkaisussa runkomelun arviointi voidaan tehdä kolmella arviointitasolla. Arviointitaso 1 perustuu turvaetäisyyksiin, arviointitaso 2 perustuu värähtelyn siirtotien arviointiin ja arviointitaso 3 maaperästä ja rakennuksista tehtyihin värähtely- ja äänenvoimakkuusmittauksiin.

Arviointitavat perustuvat pääasiassa Pohjois-Amerikassa tehtyihin mittauksiin, joten siksi tätä arviointi on syytä pitää vain suuntaa-antavana, ellei aikaisemmin saatu kokemus vahvista menetelmän käyttökelpoisuutta. Menetelmän epävarmuutta lisääviä tekijöitä ovat mm. maaperäolosuhteiden erot (kerrostunut maaperä, routa), liikennevälineiden ja väylän ominaisuuksien erot sekä rakennuksien ja niiden

perustamistavan erot. Menetelmässä käytetään lukuisia eri korjaustekijöitä, joiden valinta vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen. Esitetty arviointitapa soveltuu parhaiten yleiskaavataso suunnitteluun, ja lopullinen runkomelun arvioiminen tulisi tehdä asemakaavavaiheessa, jolloin arvioinnissa tulisi käyttää pääasiassa maaperästä tehtäviä värähtelymittauksia. Esimerkiksi raitiotien 1. vaiheesta tulisi tehdä värähtelymittauksia, joita voisi käyttää hyödyksi 2. vaiheen ja mahdollisten seuraavien vaiheiden suunnittelussa.

Arviointitaso 1: Turvaetäisyyden käyttö

Taulukossa 3 on esitetty turvaetäisyyksiä liikennetyypin ja pohjamaan laadun perusteella. Kuitenkin taulukossa esitettyjen hyvin pehmeiden maapohjan arvojen käyttöön tulee suhtautua varauksella, sillä niiden käyttö edellyttää, että väylän tai rakennuksen alla on riittävästi värähtelyä eristävää pehmeää maata, sitä ei ole katkaistu esimerkiksi paaluilla tai kovalla tukikerroksella ja että rakennuksen sokkeli on eristetty riittävästi routasyvyteen saakka.

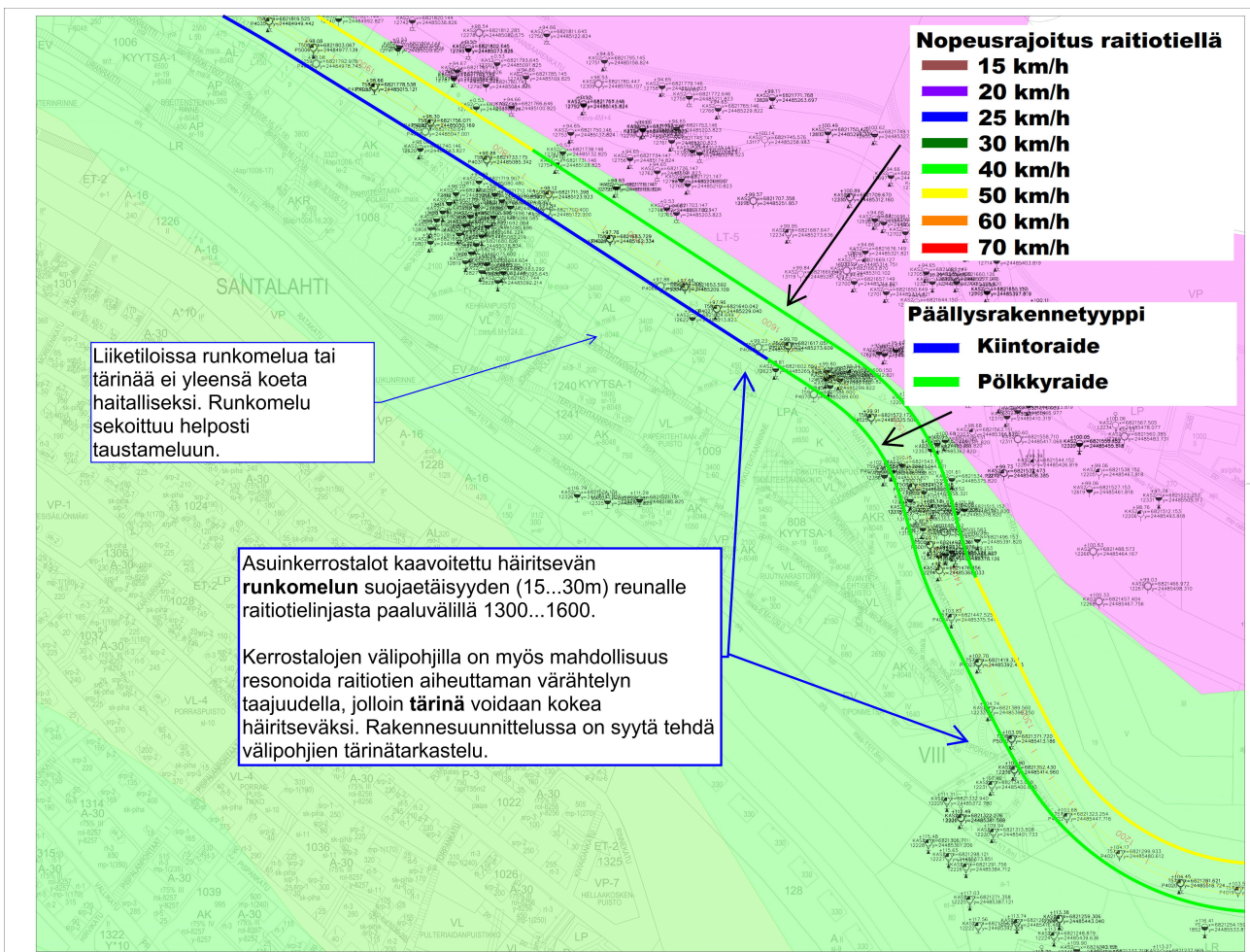
Tampereen raitiotien aiheuttama runkomelu sijoittunee taulukon raitiovaunun ja metron välille, sen painon ja nopeuden vuoksi. Tampereelle suunniteltu raitiovaunu on raskaampi kuin taulukon raitiovaunu, mutta kevyempi kuin metro tai lähijuna. Tampereen raitiovaunun nopeus sijoittuu 40 km/h ja 80 km/h väliin.

Taulukko 4. 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

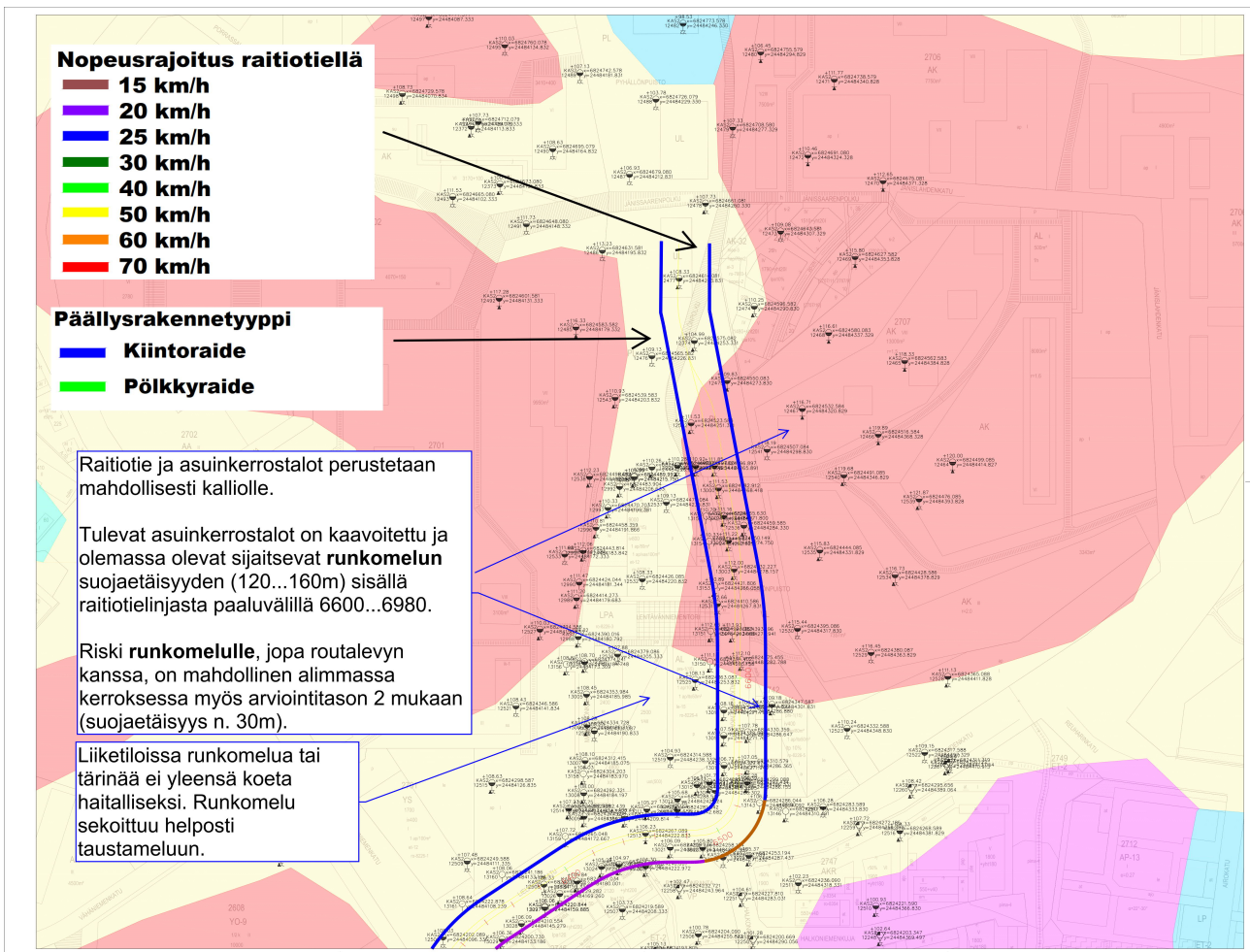
Taulukon 3 perusteella pehmeillä maapohjilla ei ole yleensä häiritsevän runkomelun riskiä, koska rakennuksen tulisi sijaita alle viiden metrin päässä raitiotiestä. Kovalla maalla runkomelu voi arviointitaso 1 mukaan olla häiritsevää noin 15...30 metrin päässä. Suoraan kalliolle perustettujen rakennusten riskialue voi ulottua radasta jopa 150 metrin etäisyydelle, kun raitiotiekin on perustettu suoraan kalliolle.

Nykyisiä tai tulevia asuinrakennuksia kovalla maalla noin 15...30 metrin päässä raitiotiestä voi mahdollisesti olla Rantatien itäpäässä uudella asuinkeuhon- ja rivitaloalueella plv 1300...1600, Hiedanrannan uudella asuinalueella plv 2800...3700 sekä Lielahdenkadun itäpuolella plv 6140...6460. Kaikissa tapauksissa asemakaavaan on kaavoitettu kerrostaloja, jotka vähentävät runkomelun riskiä verrattuna mataliin ja keveisiin asuinrakennuksiin. Kuvassa 4 esitetään tarkempi katsaus Rantatien itäpään uudesta asuinkeuhon- ja rivitaloalueesta. Rantatiellä raitiovaunun nopeus on suurin edellä mainituista kolmesta kohteesta, jolloin myös runkomeluriski on suurin.



Kuva 4. Rantatien itäpään uudella asuinkeuhon- ja rivitaloalueen runkomelu- ja tärinätarkastelu plv 1300...1600.

Lentävänniemessä Halkoniemenkadulla raitiotie perustetaan mahdollisesti kalliolle plv 6600...6840. GTK:n maaperäkartan sekä alustavien pohjatutkimusten mukaan kalliopinta on 0...2 m päässä maanpinnasta. Kalliopintaa ei ole varmistettu pohjatutkimuksin. Halkoniemenkadulla lähimmät asuinrakennukset ovat korkeita kerrostaloja, jotka sijaitsevat noin 40...60 metrin päässä raitiotielinjauksesta. Raitiotien nopeusrajoitus alueella on kuitenkin matala.



Kuva 5. Halkoniemenkadun runkomeluriskin tarkastelu plv 6600...6760.

Tarkempia tarkasteluja näistä ja näiden tyyppisistä kohteista on tehty arviointitasolla 2.

Arviointitaso 2: Värähtelyn siirtotiehen perustuva arviointi

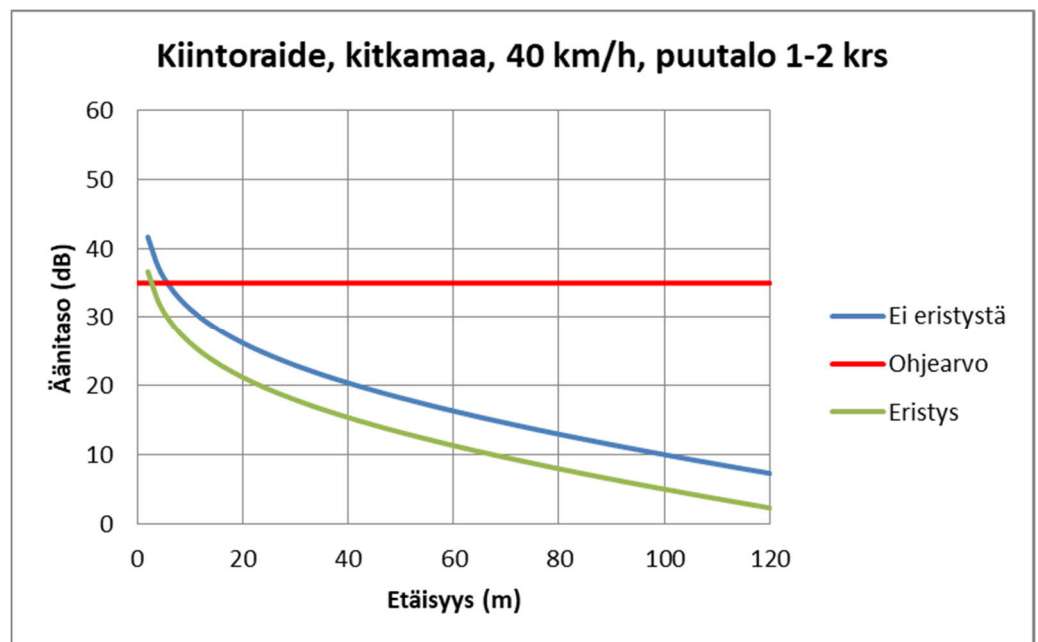
Arviointitaso 2 käyttö on perusteltua, jos runkomeluriski arviointitaso 1 perusteella kohoaa suureksi. Tason 2 värähtelyn siirtotiehen perustuva arviointi on yksityiskohtaisesti esitetty VTT:n julkaisussa. Tässä selvityksessä esitellään ainoastaan arvioinnin perusteet ja saadut tulokset.

Tässä selvityksessä arviointi perustuu normaalijousitettuun sähkömoottoriajoneuvoon. Radan kunto on hyvä ja kiintoraiteissa kiskojen alla on joustavat aluslevyt. Arvioinnit on tehty suunniteltujen ajonopeuksien 20...70 km/h mukaan. Alhaisemmillä ajonopeuksilla runkomelutasot ovat todella alhaisia eivätkä aiheuta häiritsevää melua. Nopeudella 40 km/h runkomelun voidaan arvioida alenevan noin 8 dB ja nopeudella 20 km/h vastaavasti 14 dB verrattuna ajonopeuteen 100 km/h, jonka mukaan siirtotiehen perustuvan arvioinnin peruskäyrä on tehty.

Selvityksessä oletetaan, että raitiotien pyörät ja kiskot ovat hyvässä kunnossa. Kuluneet pyörät tai kiskot, lovipyörät sekä radan epäjatkuvuuskohtat aiheuttavat laskennallisesti 10 dB lisän runkomeluun.

Kiintoraide

Kiintoraiteessa kiskot on eristetty välilevyllä, joka vähentää runkomelua laskennallisesti 5 dB. Kuvassa 6 esitetään arvioitu runkomelun riskialue, kun 1-2 kerroksinen puutalo on perustettu kitkamaalle maanvaraisesti ja raitiovaunun ajonopeus on 40 km/h. Tällä tilanteella kuvataan Lentävänniemessä sijaitsevia vanhoja asuinrakennuksia Federleynkadulla. Sama tilanne käy myös Federleynkadun ja Lielahdenkadun uusien asuinrakennusten tarkasteluun, jossa yksikerroksisen puutalon tilalla käytettäisiin kerrostaloa, joka vähentäisi äänitason määrää. Arvioitu riskialue ulottuu ilman eristystä noin 8 metrin päähän, eristyksen kanssa noin 5 metrin päähän. Eristyksellä tarkoitetaan routaeristystä, joka vähentää VTT:n lausunnon mukaan 10 dB runkomelua. Tarkastelun mukaan Federleynkadulla tai Lentävännimenkadulla ei ole riskiä runkomelulle.

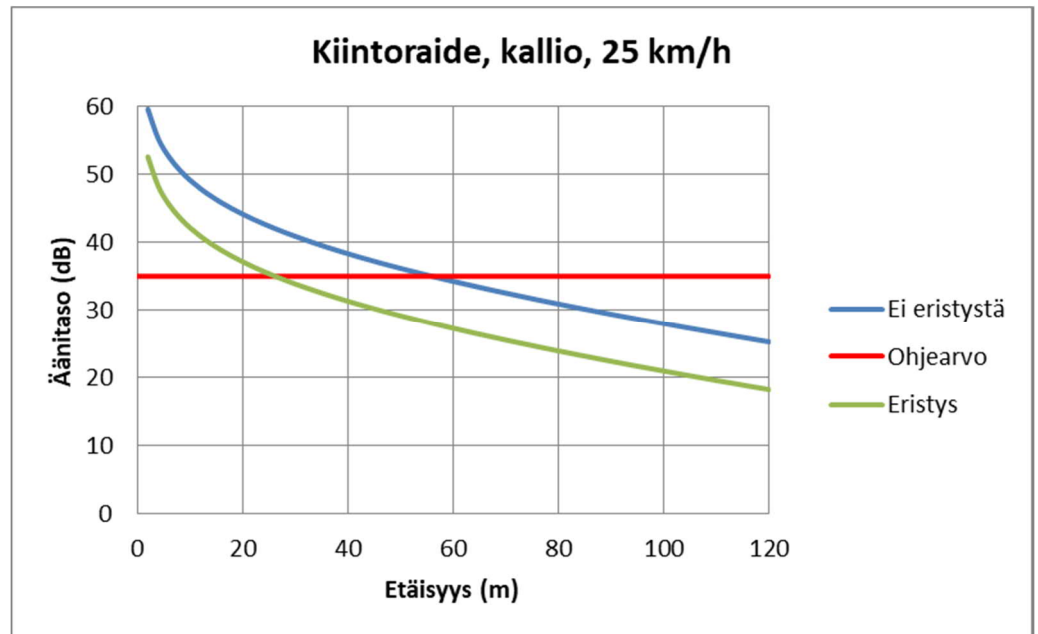


Kuva 6. Runkomelun riskialue 1-2 krs puutalossa, joka on perustettu kitkamaalle.

Lielahdenkadulla pl 6140...6300 raitiotie ja uudet rakennukset perustetaan mahdollisesti kalliolle. Tämänhetkisten kairauksien mukaan kallionpintaa ei ole varmistettu ja kairauksien mukaan sen varmistaminen on vaikeaa. Jos raitiotie ja rakennukset perustetaan kalliolle, on suojaetäisyys samaa luokkaa kuin Halkoniemenkadulla. Kohde pitää tarkastella uudelleen kun kallionpinta on varmistettu.

Kuvassa 7 esitetään arvioitu runkomelun riskialue, kun rakennus on perustettu kalliolle ja raitiovaunun ajonopeus on 25 km/h. Tällä tilanteella kuvataan Lentävänniemessä sijaitsevia asuinrakennuksia Halkoniemenkadun itäpuolella.

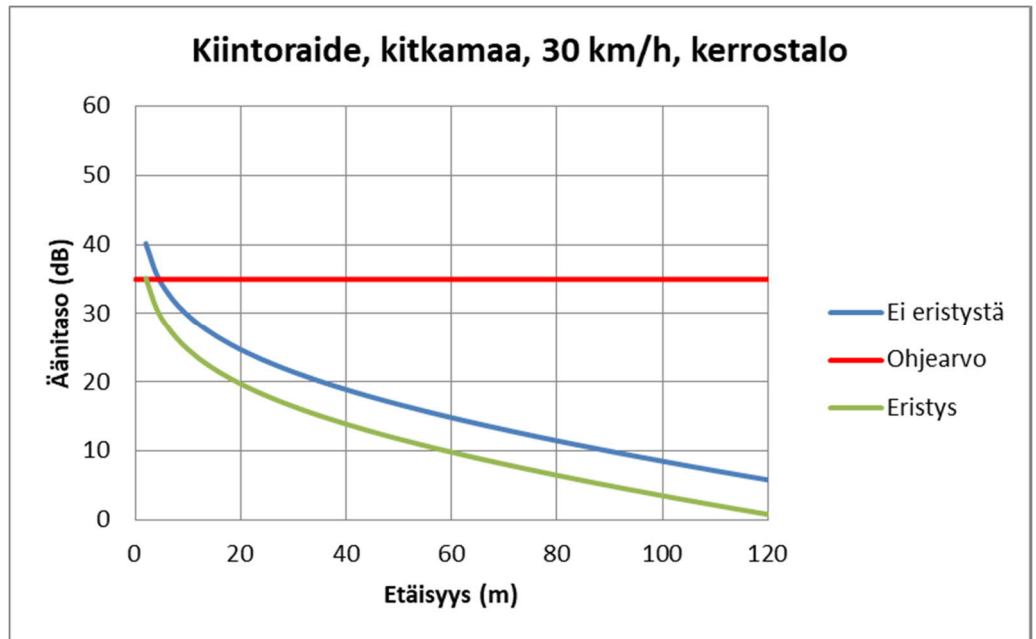
Arvioitu riskialue ulottuu ilman eristystä noin 60 metrin päähän ja eristysten kanssa noin 25 metrin päähän raitiotiestä.



Kuva 7. Runkomelun riskialue kerrostalon alimmassa kerroksessa, kun raitiotie on perustettu kalliolle.

Halkoniemenkadulla eristystä voi paksuntaa kaksinkertaiseksi, jolloin eristysvaikutus kasvaa noin 4 dB. Tällöin ohjearvon ylittävä äänitaso voi tapahtua noin 20 metrin etäisyydellä raitiotiestä kerrostalon alimmassa kerroksessa.

Sepänkadulla lähimmät asuinrakennukset ovat alle 15 metrin päässä raitiotielinjauksesta. Pohjamaa on Sepänkadulla kitkamaata, raitiovaunun ajonopeus on 30 km/h ja kyseessä on kerrostalo. Kuvassa 8 on esitetty VTT:n mallin mukaan arvioitu runkomelun riskialue Sepänkadun tilanteessa.

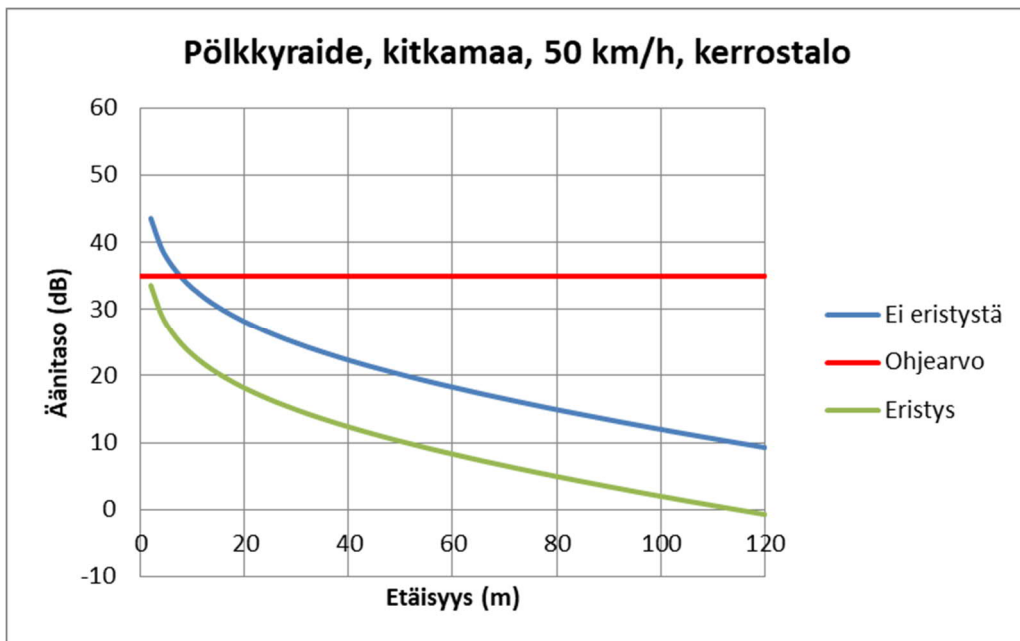


Kuva 8. Runkomelun riskialue kerrostalon alimmassa kerroksessa, kun raitiotie on perustettu kitkamaalle ja ajonopeus on 30 km/h.

Pölkkyraide

Pölkkyraide eroaa kiintoraiteesta siten, että siinä kiskon alla ei ole runkomelua eristävää välilevyä. Pölkkyraiteessa runkomelu välittyy laskennallisesti siis noin 5 dB voimakkaampana kuin kiintoraiteessa.

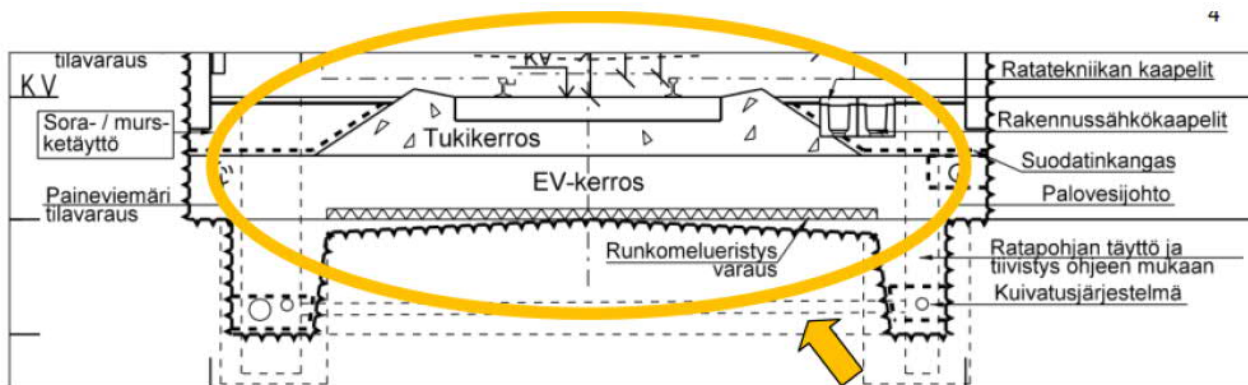
Kuvassa 9 esitetään arvioitu runkomelun riskialue, kun kerrostalo on perustettu kitkamaalle ja raitiovaunun ajonopeus on 50 km/h. Tällä tilanteella kuvataan Paasikivenkadulla ja Rantatiellä olevan sepeliradan tilannetta. Arvioitu riskialue ulottuu ilman eristystä noin 10 metrin päähän ja eristyksen kanssa noin 5 metrin päähän.



Kuva 9. Runkomelun riskialue kerrostalon alimmassa kerroksessa, kun pölkkyraide on perustettu kovalle kitkamaalle.

Pölkkyraidetta ei ole kalliolla KAS2 vaiheessa, joten pahin tilanne runkomelun suhteen pölkkyraiteella on Paasikivenkadun ja Rantatien vierelle kitkamaalle rakennettava osuus.

Tarvittaessa käytetään tehokkaampaa eristämistä, jolla voidaan päästä noin 15-20 dB eristysvaikutukseen. Kuvassa 10 on pölkkyraiteen alle tehty eristys Kehäradalla. Sen eristysvaikutus on noin 10 dB ja kustannus noin 50€/m².



Kuva 10. Periaatteellinen eristysratkaisu; RockBallast 3515, paksuus 50 mm, paino 11 kg/m². Tätä eristystapaa on käytetty Kehäradan tunneleissa.

Runkomelun riskiarviointi raitiotielinjalla

Yleisesti raitiotie ei aiheuta suuria runkomeluriskejä raitiotielinjauksen alueella. Ainoat runkomeluriskit kohdistuvat Lentävänniemen Halkoniemenkadun molemmin puolin nykyisiin asuin- ja liikerakennuksiin. Laskennallisesti runkomeluriski kallon päälle

rakennetussa kiintoradassa, joka on eristetty, ulottuu 30 metrin päähän raitiotiestä. Tarkemmat tarkastelut källionpinnan sijainnista voi vähentää runkomeluriskiä.

Kiintoraide

Kiintoraidealueet on esitetty taulukossa 1. Tampereen keskustan alueella runkomeluriskiä vähentää kerroksellisten maakerrosten varaan tehdyn kiintoraiteen alla oleva rouaeristys ja alhainen 25...30 km/h nopeusrajoitus.

Rantatien itäpäässä arviointitason 1 mukaan on mahdollisuus häiritsevään runkomeluun alimmissa kerrostalojen kerroksissa. Rantatiellä vanhan paperitehtaanalueen uusien kerrostalojen runkomeluriski on pieni rouaeristyksen, hiljaisen nopeuden (40 km/h) sekä itse kerrostalojen vuoksi. Jos alueella olisi matalampia (1-2 krs) huoneistoja, alle 20 metrin päässä raitiotiestä, olisi runkomeluriski olla mahdollinen myös arviointitason 2 mukaan.

Rantatien länsipäässä on enemmän liikehuoneistoja kuin asuinkerrostaloja. Liikehuoneistossa runkomelua ei ehkä edes koeta häiritseväksi, vaikka se ylittäisi yli 35 dB rajan. Arviointitason 2 mukaan tämä ei kuitenkaan tapahtuisi yli 20 metrin päässä raitiotiestä.

Hiedanrannan alueella runkomeluriski on pieni, koska raitiotie perustetaan kovalle täytölle ja sen nopeus on 40 km/h.

Lentävänniemessä Federleykadulla ja Lielahdenkadulla runkomeluriski on pieni matalan ajonopeuden ja rouaeristyksen ansiosta. Ainut ongelma voi syntyä Halkoniemenkadulla, mistä aikaisemmin jo mainittiin.

Pölkkyraide

Linjauksesta osa tehdään pölkkyraiteena, joka rouaeristetään. Pölkkyraidetta on Paasikivenkadun varressa, missä ei ole asuinrakennuksia, joissa runkomelu voisi haitata sekä Lielahdessa pehmeiköllä. Pehmeikkö vähentää runkomeluriskiä huomattavasti, joten jos tulevaisuudessa pölkkyraiteen varteen Lielahden halutaan rakentaa asuinrakennuksia, se on runkomeluriskin kannalta mahdollista.

3. Tärinä

3.1. Tärinän synty

Tärinä on maakamaran kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka aistitaan tuntoaistilla. Häiritsevän liikennetärinän taajuus on yleensä 3-50 Hz.

Junaliikenne aiheuttaa yleensä tärinää kolmella eri taajuusalueella. Kulkuneuvon akselit aiheuttavat liikkuvaa "staattista painumaa" radalle, joka aiheuttaa aaltoliikkeitä maassa. Aaltoliikkeiden taajuus on akseleiden ohitustaajuus eli n. 3-8 Hz. Tämä maassa liikkuva tärinä voi vahvistua hienorakeisissa maapohjissa ja jopa aiheuttaa 1-2 kerroksisen pientalon koko rungon resonanssivärähtelyn vaakasuunnassa.

Junan kaluston, ratapölkkyjen ja radan epäjatkuvuuskohtien yms. herätteet aiheuttavat taajuudeltaan noin 10-50 Hz tärinää. Tämä keskitaajuuksilla maassa liikkuva tärinä voi vahvistua helpoiten kiinteissä irtorakeisissa maapohjissa ja aiheuttaa erityisesti rakennusten välipohjien värähtelyä pystysuunnassa.

Pyörien ja kiskojen kontaktista syntyy korkeataajuisia tärinää, jonka taajuus on noin 30-150 Hz. Tämä korkeataajuinen tärinä siirtyy helpoiten tiiviissä maassa ja kalliiossa ja kuullaan yleensä runkoäänenä rakennuksissa.

Paksut hienorakeiset pehmeiköt välittävät hyvin matalataajuisia n. 3-8 Hz tärinää. Resonanssi maan ja herätteen välillä on todennäköinen. Muodonmuutokset pehmeiköllä ovat suuria, mistä johtuu suuri tärinätaso ja vaikutusalueen laajuus joka voi raskailla junilla olla jopa yli 300 m. Korkeataajuiset tärinät vaimenevat nopeasti paksuilla pehmeiköillä.

Ohuet pehmeiköt sekä lähes kaikenpaksuiset kitkamaat välittävät noin 10-30 Hz tärinää. Resonanssi maan ja herätteen välillä on todennäköinen. Tärinätasot ovat pienehköjä ja vaikutusalue yleensä selvästi alle 100 m, jopa raskailla junilla.

Kallio- ja tiivis kitkamaa välittää noin 30-150 Hz tärinää parhaiten. Tärinätasot on pieniä ja vaikutusalue on yleensä alle 100 m. Kuitenkin korkeataajuinen tärinä voi vahvistua rakenteissa ja heijastua häiritseväksi runkomeluksi.

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

Liikennetärinä siirtyy maaperän kautta edelleen perustukseen ja rakennuksen runkoon tai lattiaan. Tällöin värähtelyn suuruuden lisäksi muuttuu myös sen taajuussisältö. Maasta perustukseen siirtyvän värähtelyn suuruuteen vaikuttavat:

- Maaperän värähtelyn suuruus, suunta ja taajuussisältö
- Rakennuksen vaakadimensiot
- Perustamistapa
- Perustuksen jäykkyys
- Rakennuksen massa

Perustuksesta rakennukseen siirtyvän värähtelyn suuruuteen vaikuttavat

- Perustuksen värähtelyn suuruus, suunta ja taajuussisältö
- Rungon ja lattian dynaamiset ominaisuudet

(Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT Tiedotteita 2425, Espoo 2008)

3.2. Tärinän suositusarvot

Yleensä Suomessa noudatetaan liikennetärinälle VTT:n ohjeita ja suositusarvoja (taulukko 5). Niiden laadinnassa on otettu huomioon ihmisten kokemaa häiriö asuinrakennuksissa. Suurin tärinähäiriö koetaan yleensä öisin. Uusien väylien rakentamisen yhteydessä noudatetaan yleensä värähtelyluokan C arvoja. Tampereen raitiotien suunnitteluperusteissa tärinästä aiheutuva värähtely ei saa ylittää arvoa 0,15

mm/s eli rakennukset raitiotien läheisyydessä kuuluvat värähtelyluokkaan B. Taulukon arvoja ei sovelleta rakennuksiin, joissa ihmiset ovat liikkeessä kuten esimerkiksi toimistot, kahvilat, ostoskeskukset yms.

Taulukko 5. Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta. (Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT Tiedotteita 2425, Espoo 2008)

Värähtelyluokka	Kuvaus olosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. <i>Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.</i>	$\leq 0,60$

3.3. Tärinän arviointi

Liikennetärinän suuruutta arvioidaan uusien väylähankkeiden suunnittelussa kolmessa eri arviointitasossa, jotka ovat samankaltaiset kuin runkomelun arvioinnissa. Arviointitaso 1 perustuu turvaetäisyyksiin, arviointitaso 2 laskentamalleihin ja arviointitaso 3 vertailukelpoisissa olosuhteissa tehtyihin mittauksiin.

Arviointitaso 1

Arviointitaso 1 perustuu VTT:n määrittelemiin turvaetäisyyksiin. VTT:n julkaisuissa ei ole esitetty turvaetäisyyttä raitiotieliikenteelle. Kevyin arvioitu kulkuneuvo VTT:n turvaetäisyyksien määrittämisessä on pikajuna (40 km/h, 500 tn), joka on Tampereen raitiovaunua huomattavasti raskaampi. Tampereen raitiovaunu tulee olemaan massaltaan noin 60 tn ja sen nopeus maksimissaan 70 km/h. Pikajunan aiheuttaman tärinän turvaetäisyys on VTT:n määritelmien mukaan 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

Arviointitason 2 käyttö perustuu turvaetäisyyksien lisäksi laskennallisiin tarkasteluihin ja paikan päällä tehtäviin tarkentaviin mittauksiin. Arviointitaso 2 voidaan käyttää, kun yleiskaavassa tai asemakaavassa rakentamista ohjataan yksityiskohtaisesti ja arviointitason 1 perusteella alue on riskialuetta. 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 esimerkiksi liikennekuormien seurauksena. Taso perustuu tarkempaan rakennuspaikkakohtaisiin tärinämittauksiin ja rakennusten värähtelytarkasteluihin.

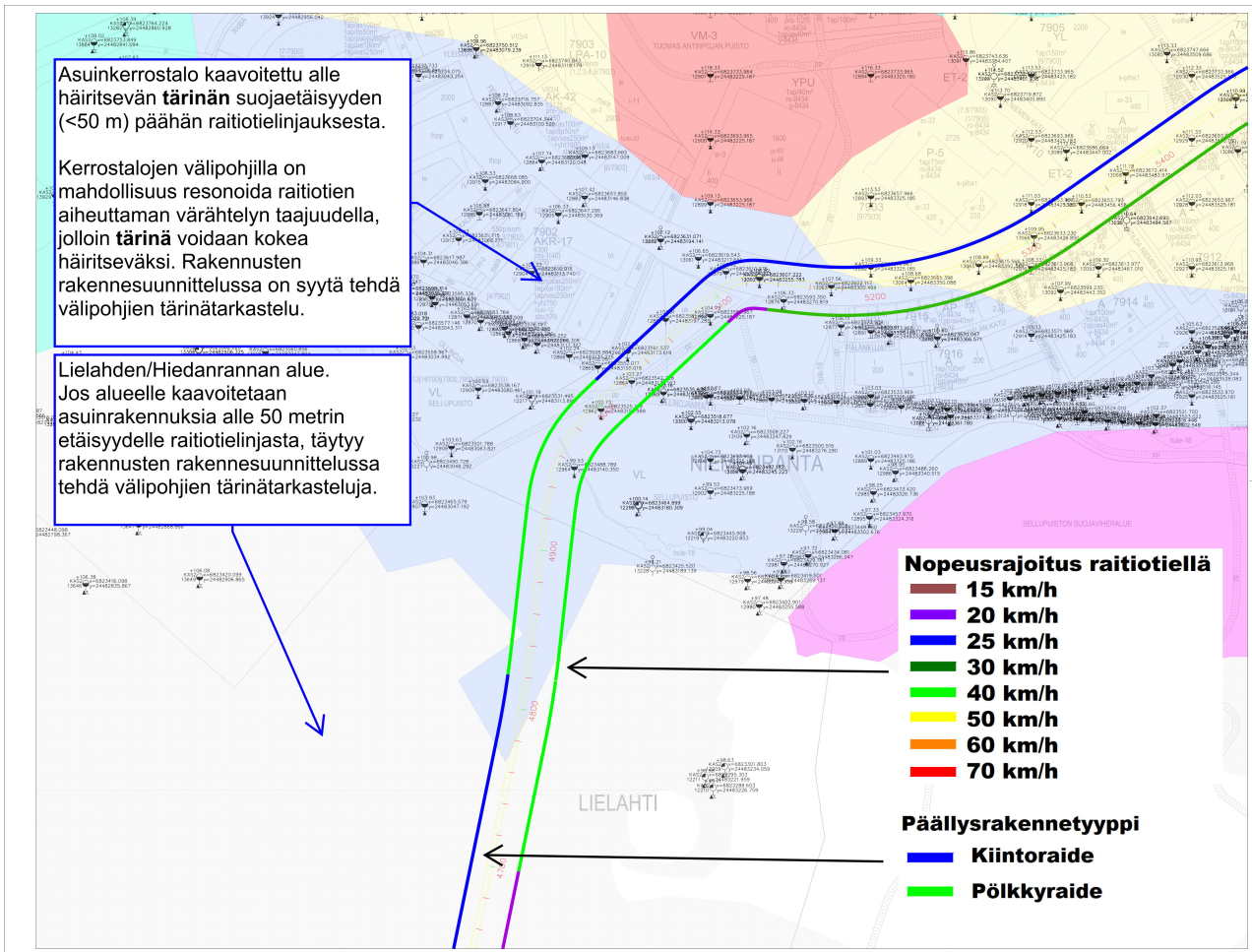
Raitiotieliikenteestä on tehty hyvin vähän tärinämittauksia Suomessa ja ulkomailla. Tämä kuvaa raitiotieliikenteen pientä tärinähaittaa. Raitiovaunut ovat kevyitä ja niiden ajonopeus on alhainen, aiheuttaen näin ollen hyvin pientä tärinäriskiä viereisille rakennuksille. Tärinämittauksia olisi kuitenkin hyvä tehdä valmistuvasta Tampereen raitiotien ensimmäisestä vaiheesta, jotta siitä saatavia tuloksia voitaisiin käyttää hyödyksi toisen vaiheen mahdollisten riskikohteiden tärinäriskin tarkentamisessa.

3.4. Tärinän riskinarviointi raitiotielinjalla

Raitiotien aiheuttaman tärinän mittauksia on tehty todella vähän, minkä vuoksi VTT:n ohjeissa ei ole annettu turvaetäisyyksien ohjearvoja tai laskentamallia tärinän arvioimiseksi. Raitiovaunuliikenteen tärinää tulisi mitata Tampereen raitiotien 1-vaiheen koeajojen yhteydessä erilaisissa ja vertailukelpoisissa olosuhteissa. Näiden mittausten perusteella tärinäriskiä voi tarkentaa luotettavammaksi. Koska mittauksia eikä ohjearvoja ole raitiotien aiheuttamalle tärinälle, perustuu tämän raportin arviointi asiantuntijan näkemykseen.

Raitiotien KAS2 linjalla ei ole kuin yksi selvä pehmeikkö Ollinojan alueella plv 4900..5200. (Kuva 11) Pehmeikölle on kaavoitettu 4-5 kerroksisia asuinrakennuksia, jotka sijaitsevat alle 50 metrin etäisyydellä raitiotielinjauksesta. Ollinojan savikko on noin 4-6 m paksu, jonka vesipitoisuus on noin 30 %. Savikon oletetaan syntyneen heti jääkauden jälkeen, minkä vuoksi saven leikkauslujuuden voidaan olettaa olevan melko suuri. Saven leikkauslujuudesta ei ole tehty vielä tarkentavia pohjatutkimuksia. Savikko välittää näillä perusteilla matalataajuisia (5-15 Hz) tärinää.

Arviointitason 1 mukaan mahdollisuus häiritsevälle tärinälle kyseisissä asuinrakennuksissa on mahdollinen. Suurin riski on kuitenkin asuntojen välipohjien resonanssissa. Jos rakennuksien rakennesuunnitteluun voi vielä vaikuttaa raitiotien tärinämittausten jälkeen, välipohjat täytyy suunnitella siten, että niiden ominaistaajuuudet ovat eri taajuualueella kuin raitiotien aiheuttama tärinä.



Kuva 11. Ollinojan tärinäriskin tarkastelu plv 4900...5200.

Välipohjien resonanssi on ongelma koko raitiotien alueella riippumatta pohjamaasta. Välipohjien ominaistajuus on yleensä taajuusalueella 10-40 Hz. Tällainen taajuus välittyy parhaiten pehmeillä ja löyhillä kitkamailla. Ongelmaa voi kuitenkin esiintyä myös kalliolla ja tiivillä kitkamailla.

Välipohjien resonanssiriskit ovat suurimpia lähelle raitiotietä rakennetuissa rakennuksissa. Suurin välipohjien resonanssin riskialue on Lielahden ja Hiedanrannan alue plv 3700-5200.

Asuinrakennukset tulevat olemaan lähellä raitiotietä myös Hiedanrannan täyden alueella. Täyttö tehdään louheesta, mikä vaimentaa hyvin raitiotiestä aiheutuvaa tärinää. Täytölle kaavoitetut rakennukset rakennetaan paaluille, mikä vähentää myös vieressä olevan raitiotien värähtelystä aiheutuvaa välipohjien resonanssiriskiä.

Raitiotien alueelta tarvitaan kokemuksia raitiotien aiheuttaman tärinän taajuuksista ja tärinätasoista. Mittauksia raitiotien aiheuttamasta tärinästä erilaisissa pohjaolosuhteissa tarvitaan. Raitiotien läheisyyteen rakennettavien tulevien rakennusten välipohjien rakennesuunnittelussa on otettava huomioon mitatut

tärinän taajuudet, jotta välipohjat eivät resonoisi raitiotien aiheuttaman värinän kanssa.

Raitiotien aiheuttaman värinän ja sen lähelle rakennettujen rakennusten välipohjien mahdollisen resonanssiongelman vuoksi kaavamääräyksiin olisi hyvä lisätä ohjeistusta rakennusten välipohjien suunnittelusta ja rakentamisesta. Kaavamääräyksiin tulisi lisätä seuraava ohjeistus: Alle 50 metrin päähän raitiotiestä kaavoitetuissa asuinrakennuksissa välipohjat suunnitellaan ja rakennetaan siten, että niiden ominaistaajuudet eivät ole samalla värähtelytaajuudella raitiotiestä aiheutuvan värinän kanssa. Raitiotiestä aiheutuvan värähtelyn taajuusalueet täytyy selvittää värinämittauksilla.

4. Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet toteutusvaiheessa

Raportti esittelee Tampereen raitiotien KAS2-vaiheen runkomelu- ja värinäriskialueet sekä niiden hallinnan yleiset periaatteet. Toteutusvaiheen suunnittelussa on tarpeen tarkentaa runkomeluriskien sekä välipohjien resonanssiriskien hallintaa. Riskialueet on esitetty kuvassa 1.

Hiedanrannan osalta selvitys on syytä päivittää Hiedanrannan yleissuunnitelman päivittymisen jälkeen.

Lielahdenkadulla pl 6140...6300 kallionpintaa ei ole varmistettu. Kairauksien perusteella kallio on noin 2..5 metrin syvyydessä. Kitkamaata kallionpinnan ja raitiotien sekä rakennuksen välissä täytyy olla vähintään 3 metriä, jotta pohjamaa lasketaan VTT:n runkomelun arviointimallin mukaan kitkamaaksi. Lielahdenkadun osalta selvitys on syytä päivittää pl 6140...6300, kun alueelta on tehty lisää kairauksia.

Runkomelu

Runkomeluriskin arviointi perustuu asuinrakennuksille suositeltuun ohjearvoon 35 dB (taulukko 3). Arvioinnissa ei otettu huomioon tiloja, jotka ovat erityisen herkkiä runkomelulle kuten teatterit ja konserttisalit.

Runkomelun suurin riskialue sijaitsee Lentävänniemessä Halkoniemenkadulla, missä raitiotie ja rakennukset perustetaan kalliolle. Kallionpinta olisi toteutusvaiheessa tarpeen varmistaa riittävän tarkasti, jotta runkomeluriskiä voidaan tarkentaa. Mikäli raitiotien rakenneerrokset rakennetaan suoraan kalliolle, Halkoniemenkadulla täytyy tehdä tarkentavia runkomeluriskiarviointeja. Tarkentavia arviointeja voi tehdä kenttämittauksilla nykyisistä rakennuksista keinotekoisia herätteitä käyttäen. Keinotekoiseen herätteeseen perustuvia mittauksia on kuvattu VTT:n tiedotteessa 2468: Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, I Esiselvitys.

Muita runkomelun riskikohteita ovat Hiedanrannan täyttö, Rantatie, Lielahden alue, Lielahdenkatu sekä Sepänkatu. Raitiotie perustetaan näissä kohteissa kitkamaalle ja lähimmät asuinrakennukset ovat alle 20 metrin päässä raitiotielinjauksesta. Arviointitason 2 mukaan runkomelun riskialue ilman routalevyä on noin 10...20 metriä riippuen ajonopeudesta ja rakennuksesta. Näillä alueilla rakenteeseen tarvitaan routalevy, jos asuinrakennus sijaitsee riskialueen sisällä. Routalevyn avulla riskialueen

etäisyys raitiotiestä pienenee noin 4..8 metriin. Routalevyn tarve tarkistetaan ensimmäisestä vaiheesta tehtävillä tärinä- ja runkomelumittauksilla. Jos tuloksien mukaan raitiovaunu ei aiheuta kitkamaalla runkomeluongelmia alle 10 metrin etäisyydellä olevissa asuinrakennuksissa 30...50 km/h nopeuksilla, ei routaeristettä tarvita edellä esitetyissä riskikohteissa.

Tärinä

Tärinärisikin arviointi perustuu VTT:n suositusarvoihin (taulukko 5). Arvioinnissa ei ole otettu huomioon laitteita, toimintoja tai tiloja, jotka ovat erityisen herkkiä tärinälle.

KAS2-linjauksen varrella ei ole erityisen merkittäviä tärinäriskialueita, kuten suuria pehmeikköjä. Linjaukselle osuu yksi pieni pehmeikköalue. Ollinojan pehmeikölle on kaavoitettu yksi kerrostalo, joka on arviointitason 1 riskialueen sisällä. Rakennuksen tärinärisi on kuitenkin hyvin pieni raitiovaunun nopeuden ja massan vuoksi. Suurempi riski on rakennuksen välipohjan mahdollisessa resonanssissa raitiotien aiheuttaman tärinän kanssa.

Raitiotien tärinän ja rakennusten välipohjien resonanssi voi olla ongelma kaikenlaisilla pohjamailla alle 50 metrin päässä raitiotiestä. Välipohjien ominaistaajuudet ovat yleensä noin 10-40 Hz taajuusalueella. Raitiotien aiheuttaman tärinän taajuusalue täytyy selvittää tärinämittauksilla raitiovaunujen 1-vaiheen testiajoista. Kun raitiotien aiheuttaman tärinän taajuusalue erilaisissa pohjamaissa on selvitetty, voidaan raitiotien läheisyyteen rakennettavien asuinrakennusten välipohjat suunnitella ja rakentaa siten, etteivät niiden ominaistaajuudet ole samalla värähtelytaajuudella raitiotiestä aiheutuvan tärinän kanssa.

Tästä syystä raitiotien suunnitteluperusteisiin sekä tuleviin kaavoihin on syytä lisätä seuraava ohjeistus: Rakennusten välipohjien suunnittelussa on otettava huomioon raitiotiestä aiheutuvan värähtelyn taajuusalueet.

Raitiovaunutärinä ei aiheuta vaurioita normaalikuntoisissa rakenteissa.

Tampereella 17. Toukokuuta 2019



Antti Pelho

Geotekninen suunnittelija, DI

Pöyry Finland Oy



Matti Hakulinen

Geotekninen erityisasiantuntija, TkL

Pöyry Finland Oy

Liitteet

1. Lausunto routaeristeen vaikutuksesta raitiovaunun aiheuttamaan runkomeluun