

Vastaanottaja
Tampereen kaupunki

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
5.12.2022

DONNA ID: 6109506

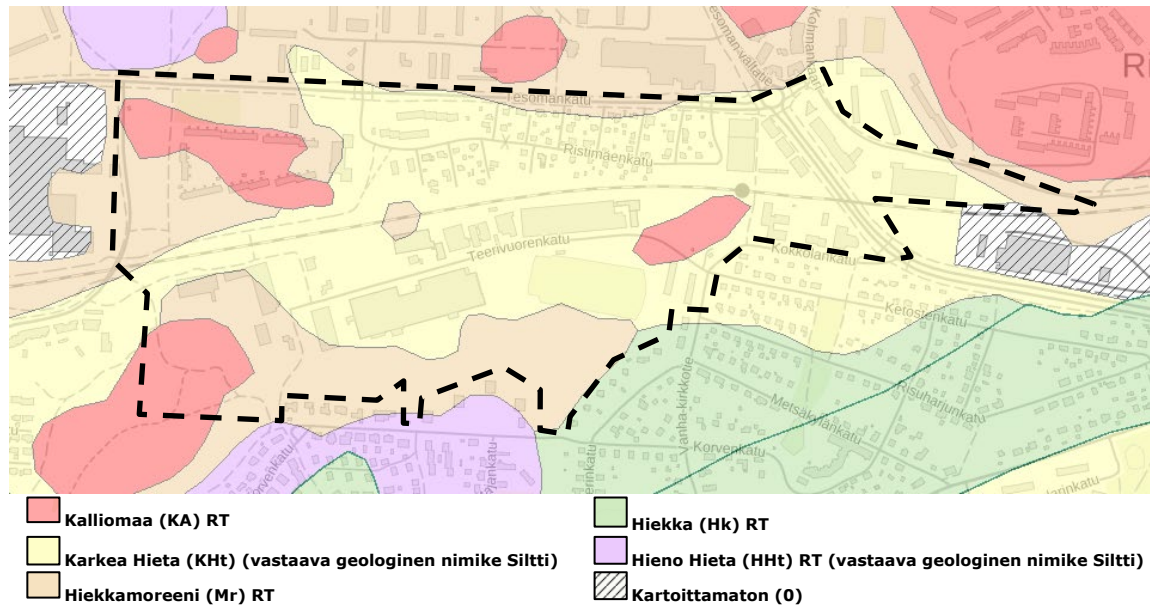
TESOMAN LÄHIJUNASEISAKKEEN YMPÄRIS- TÖN VISIO, TAMPERE TÄRINÄ- JA RUNKOMELUSELVITYS

**TESOMAN LÄHIJUNASEISAKKEEN YMPÄRISTÖN
VISIO, TAMPERE
TÄRINÄ- JA RUNKOMELUSELVITYS**

Laatija	Joni Kemppainen
Tarkastaja	Joose Takala
Kuvaus	Tärinä- ja runkomeluseelvitys
Viite	1510069280

SISÄLTÖ

1.	Yleistä	1
2.	Lähtökohdat	1
2.1	Maankäytön suunnittelu	1
2.2	Maaperä	1
2.3	Raideliikenne	2
3.	Tärinän arviointiin liittyvä ohjeistus ja menettelytavat	2
3.1	Yleistä	2
3.2	Tärinähaitan asuinmukavuuden ohjearvot	3
3.3	Tärinän aiheuttama rakenteiden vaurio	3
4.	Tärinätarkastelut	4
4.1	Arviointitaso 1	4
4.2	Arviointitaso 2	4
5.	Runkomelutarkastelut	9
5.1	Ohjearvot ja arviointiperusteet	9
5.2	Runkomelutarkastelut, arviointitaso 1	10
5.3	Runkomelutarkastelut, arviointitaso 2	10
6.	tulosten arviointi ja johtopäätökset	13



Kuva 2.2. Suunnittelualan maaperäkartta (GTK maaperäkartta) Tesoman visiosuunnitelmakartan mukaisella aluerajauksella.

Kuvasta 2.2 nähdään, että maaperä ko. hyvin laajalla suunnittelualueella on vaihtelevaa. Radan lähellä maaperä on pääosin karkeaa hietaa (Siltti). Suunnittelualan reunamilla maaperä on hiekkamoreenia ja kalliota kaakkoisosaa lukuun ottamatta, jossa maaperä on hiekkaa. Suunnittelualan länsiosassa maaperä on osin kalliota sekä hiekkamoreenia radan läheisyydessä. Myös välittömästi lähijunapysäkin lounaispuolella on kalliomaata. Alueella aiemmin tehtyjen pohjatutkimusten perusteella (GTK pohjatutkimukset) maaperä Tesoman lähijunaseisakkeen lähiympäristössä radan molemmiin puolin koostuu pääosin silttisistä maakerroksista. Erityisesti radan lähellä kairaukset ovat päättyneet usein siltin alapuoleiseen moreenikerrokseen tai kallioon.

2.3 Raideliikenne

Selvityksen laskennallisessa tarkastelussa on otettu huomioon suunnittelualan läpi kulkevan Tampere-Pori välisen radan liikenne. Raideliikenne muodostuu ko. olevalla rataosalla tavarajunista, sekä henkilöliikenteen junista. Tärinän kannalta mitoitettavien junatyypin selvitysalueella on suomalaiset tavarajunat (nopeus 80 km/h). Tesoman rautatiekorttelin asemakaavamuutoksen nro 8527 tärinä- ja runkomeluselvityksen mukaan tavarajunien suurimmat kokonaismassat ovat noin 1900t (2016 ja ennuste 2035, VR Track Oy).

Nykytilanteessa kaikki rataosuudella kulkevat henkilöliikenteen junat pysähtyvät Tesoman lähijunapysäkillä. Täten nykytilanteessa tavarajunat ovat lähijunapysäkin läheisyydessä mitoitettava runkomelun junatyypin (80 km/h). Tulevaisuudessa henkilöliikenteen pikajunat voivat mahdollisesti ajaa lähijunapysäkin ohi pysähtymättä. Näiden osalta nopeutena on käytetty nopeusrajoituksen mukaista 140 km/h.

3. TÄRINÄN ARVIOINTIIN LIITTYVÄ OHJEISTUS JA MENETTELYTAVAT

3.1 Yleistä

VTT:n julkaisua "Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa" (VTT Working Papers 50, Espoo 2006) käytetään Suomessa yleisesti liikennetärinän arvioinnissa. Julkaisussa esitetään tärinän arviointimenettely kolmella eri tarkkuustasolla. Liikennetärinän siirtymistä rakennuksiin voidaan arvioida VTT:n julkaisuilla "Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi" (VTT Tiedotteita 2425, Espoo 2008) ja "Ohjeita liikennetärinän arviointiin" (VTT Tiedotteita 2569, Espoo 2011).

Arviointitasolla 1 tarkastelu perustuu kokemusperäisiin turvaetäisyyksiin, jossa huomioidaan maaperän ominaisuudet ja liikenteen tyyppi. Tarkastelulla selvitetään, onko varsinainen värähtelytarkastelu lainkaan tarpeen.

Arviointitaso 2 perustuu laskennallisiin arvoihin tai tarkistusluonteisiin värähtelymittauksiin, jolloin liikenteen ja maaperän ominaisuudet voidaan ottaa tarkemmin huomioon. Arviointitasoa 2 suositellaan käytettäväksi, kun yleiskaavassa tai asemakaavassa rakentamista ohjataan yksityiskohtaisesti määrättyllä alueella ja arviointitason 1 perusteella alue on riskialuetta.

Arviointitason 3 tarkastelu perustuu aina riittävän pitkäaikaisiin värähtelymittauksiin. Tason 3 käyttöä tarvitaan, mikäli arviointitason 2 laskennallisella tarkastelulla ei saada riittävän luotettavaa kuvaa maaperän pystyvärähtelyn suuruudesta, tai halutaan rakentaa alueelle, jolla arviointitason 2 mukaan värähtely voi ylittää suositusarvon.

3.2 Tärinähaitan asuinmukavuuden ohjearvot

Tärinän aiheuttamaa mahdollista haittaa asuinmukavuudelle maankäytön suunnittelussa arvioidaan tunnusluvun $v_{w,95}$ perusteella. Tunnusluku perustuu yksittäisten liikennetapahtumien suurimpiin värähtelyjen tehollisarvoihin ja niiden perusteella laskettuun keskiarvoon ja hajontaan seuraavasti:

Määritelmältään $v_{w,95} = (15 \text{ suurimman yksittäisen tapahtuman keskiarvo}) + (1,8 \times 15 \text{ suurimman yksittäisen tapahtuman hajonta})$. Tilastollisesta luonteestaan johtuen se voidaan tarkasti määrittää vain pitkäaikaisten mittausten avulla.

Tunnusluvun perusteella rakennuksille on annettu suositus rakennusten värähtelyluokituksista, joka esitetään taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1 Rakennusten värähtelyluokitus häiritsevyyden arvioinnissa

Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	$v_{w,95}$ (mm/s)
A	Hyvät asuinolosuhteet (Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyitä)	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät asuinolosuhteet (Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta ne eivät ole häiritseviä)	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa (Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä)	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla (Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä)	$\leq 0,60$

Luokkaan C pyritään uusien asuinrakennusten suunnittelussa. Muussa käytössä (mm. liike- ja toimistorakennukset) olevilla rakennuksilla pyritään tyypillisesti luokkaan D.

Taulukon 3.1 värähtelyluokitus koskee normaaleja asuinrakennuksia. Mikäli rakennus on tarkoituksellisesti suunniteltu häiriöttömäksi (esim. korkeatasoiset asuinrakennukset, lepokodit, sairaalat), värähtelyluokan tulee olla yhtä luokkaa korkeampi. Taulukkoa 3.1 ei sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai muut kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä. Tällaisia voivat olla esim. kaupat, kahvilat, ostoskeskukset, tavaratalot, liikuntatilat.

3.3 Tärinän aiheuttama rakenteiden vaurio

Taulukon 3.1 luokittelu koskee asumismukavuutta. Tärinän aiheuttamaa rakenteiden vaurioitumisalttiutta luokitellaan julkaisun Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttiut (VTT R 04703-14) mukaisesti:

- V Lähinnä rataa oleva alue, jossa maaperän värähtely on niin voimakasta, että se voi aiheuttaa vahinkoriskin rakennuksille tai rakenteille.
- H Hyväkuntoisiin ja tavanomaisiin rakennuksiin ei yleensä aiheudu niiden käyttökelpoisuutta haittaavia vaurioita, jos liikennetärinä on huomioitu resonanssille herkkien rakenteiden suunnittelussa. Tärinä on kuitenkin selvästi havaittavaa

ja häiritsee usein asumismukavuutta. Vaurioriskin arvioinnissa tulee ottaa huomioon rakennuskanta ja käytetyt rakennusmateriaalit.

- E Tärinä ei aiheuta normaalikuntoisten rakenteiden vaurioitumista, mutta voi häiritä asumismukavuutta. Vaikutus asumismukavuuteen on tarkistettava erikseen VTT tiedotteen 2569 mukaan.

Taulukko 3.2. Rakenteiden vaurioitumisalttiuden luokan määrittäminen värähtelyn huippuarvon $V_{\max}$ [mm/s] ja maaperän perusteella.

Maalaji ja hallitseva taajuus	Pehmeä savi <10 Hz	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka 10-20 Hz	Tiiviit kitkamaat, rikkonainen kallio 20-50 Hz	Kiinteä kallio >50 Hz
V-alue	3	4,2	6	7,2
H-alue	1-3	1,4-4,2	2-6	2,4 – 7,2
E-alue	< 1	< 1,4	< 2	< 2,4

Taulukon 3.2 luokitus perustuu värähtelyn huippuarvoon $v_{\max}$, eikä tehollisarvoon v_{RMS} kuten asumismukavuuden yhteydessä. Tyypillisesti huippuarvo on noin kaksinkertainen 1s tehollisarvoon verrattuna.

4. TÄRINÄTARKASTELUT

4.1 Arviointitaso 1

Taulukossa 4.1 on esitetty julkaisun Törnqvist & Talja (2006), "Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa" (VTT W50) arviointitaso 1 mukaiset turvaetäisyydet tärinälle. Jos suunniteltu asutus sijoittuu taulukon turvaetäisyyden ulkopuolelle, ei tarkempaa tärinäselvitystä tarvita.

Taulukko 4.1 VTT:n ohjeen W 50 mukaiset turvaetäisyydet

Suosittelava turvaetäisyys	Liikennetyyppi	Pehmein maalaji väylän alla
500 m	Tavarajunaliikenne (3500 tn, 90 km/h)	Pehmeä maa
200 m	Pikajunaliikenne (140 km/h)	Pehmeä maa
100 m	Tavara- ja pikajunat	Kova maa
100 m	Raskas maantieliikenne (100 km/h, sileä)	Pehmeä maa
100 m	Hidastetöyssyt, raskas liikenne (40 km/h)	Pehmeä maa
50 m	Raskas katuliikenne (40 km/h, sileä)	Pehmeä maa
15 m *	Raskas maantie- ja katuliikenne (myös töyssyt)	Kova maa

* Ei koske väyliä, joilla on vain tilapäisesti raskasta liikennettä

Suunnittelualueen tilannetta asettuu näistä lähimmäksi luokkaa "Tavara- ja pikajunat, kova maa", jonka ohjeellinen, tärinäluokan C mukainen suojaetäisyys on 100 m. Raskaasta tieliikenteestä ei oleteta aiheutuvan tärinähaittaa suunnittelualueella.

4.2 Arviointitaso 2

Arviointitaso 2 mukainen laskennallinen tarkastelu tehtiin julkaisussa Törnqvist & Talja (2006), "Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa" (VTT W50) esitetyn junaliikenteelle tarkoitetun laskentakaavan avulla. Lisäksi tärinän siirtymistä rakenteisiin tarkasteltiin julkaisun Talja et al. (2008) "Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi" (VTT T2425).

On huomattava, että laskenta perustuu huomattavaan määrään yleistäyksiä ja oletuksia, ja sen tuloksia on pidettävä lähinnä suuntaa antavina.

Pystysuora heilahdusnopeuden maksimin odotusarvo lasketaan maanvaraisesti perustetulle radalle yhtälöllä:

$$v_{z,\max} = v_{z,15} \cdot k_D \cdot k_S \cdot k_G \cdot k_R$$

missä

$V_{z,max}$	laskennallinen tärinän pystyheilahdusnopeus maan pinnalla tarkastelupisteessä
$V_{z,15}$	pystysuora vertailuheilahdusnopeus maassa $D = 15$ m etäisyydellä raiteen keskilinjasta
k_D	etäisyyskerroin
k_S	junan nopeudesta riippuva kerroin
k_G	junan painosta riippuva kerroin
k_R	radan kunnosta riippuva kerroin

Tärinä siirtyy suunnittelualueelle erityisesti pinnassa olevan välimaalajien sekä karkearakeisen maan kautta. Tarkasteltavien tapausten vertailuheilahdusnopeudeksi $v_{z,15}$ sekä etäisyyskseenponen-tiksi B on valittu vastaavat tavarajunille tarkoitetut vertailuheilahdusnopeuden arvot (ala- ja ylä-
rajan keskiarvo).

Koko tarkasteluvälillä tavarajunien nopeutena on käytetty 80 km/h. Nopeuskerrointa k_s ei käytetä nopeuksilla $S < 70$ km/h, joten nopeuden ollessa tätä pienempi, k_s saa arvon 1.

Laskennassa tavarajunan kokonaismassaksi on oletettu 1900 tonnia.

Radan kunnan kerroin k_R valitaan seuraavien arvojen väliltä:

- vanha yksiraiteinen rata, $k_R = 1,3$
- uusi moniraiteinen rata, $k_R = 0,7$.

Tarkasteltavien tapausten valitut kertoimien arvot on esitetty taulukossa 4.2.

Taulukko 4.2. Tärinätarkastelun laskennassa käytetyt kertoimet

Maalaji	juna	$v_{z,15}$	B	k_s	k_G	k_R
Välimaalajit (Tapaus 1) (karkeaSi, hkSi, siHk, hienoHk)	TaJu	0,65	1,2	1,14	0,95	0,7
Karkearakeinen (Tapaus 2) (Hk, Sr, HkMr, SrMr)	TaJu	0,45	1,7	1,14	0,95	0,7

Näiden kertoimien lisäksi laskennalliseen heilahdusnopeuteen sovelletaan varmuuskerrointa $F = 2$, sillä laskelmia ei ole varmistettu mittauksin.

$$V_{z,max,mitoitus} = 2,0 \cdot v_{z,max}$$

Edellä esitetyllä kaavalla ja varmuuskertoimella saadaan laskettua maaperän värähtelyn mitoitushuippuarvo $v_{z,maxmit}$. Tämä arvo muutetaan vielä maaperän värähtelyn tehollisarvoksi $v_{w,maa}$ kertoimella 0,5:

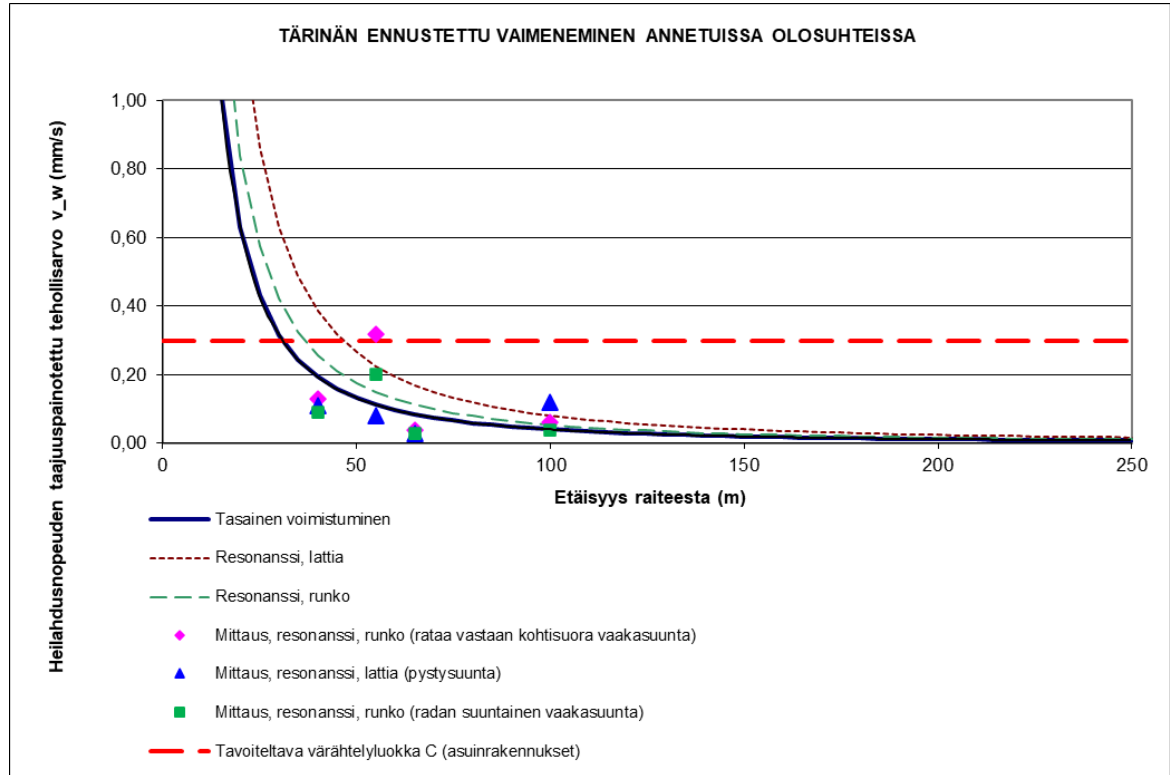
$$v_{w,maa} = 0,5 v_{z,maxmit}$$

Jotta voidaan arvioida alueen kiinteistöissä esiintyvää tärinää, varmuuskertoimella kerrottu laskennallinen maaperän värähdysnopeus $v_{w,maa}$ kerrotaan kokemuseräisellä suurennussuhteella, joka kuvaa värähtelyn siirtymistä rakenteisiin. Julkaisun "Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi" mukaan yleisen voimistumisen perusteella tämä kerroin on lattiaille ja rungolle 1,5 (yksikerroksisille maanvaraisille rakennuksille kerroin on 1). Resonanssitarkastelussa tämä kerroin on rungolle 4,0 ja lattiaille 6,0 (yksikerroksisille rakennuksille ei tehdä resonanssitarkastelua).

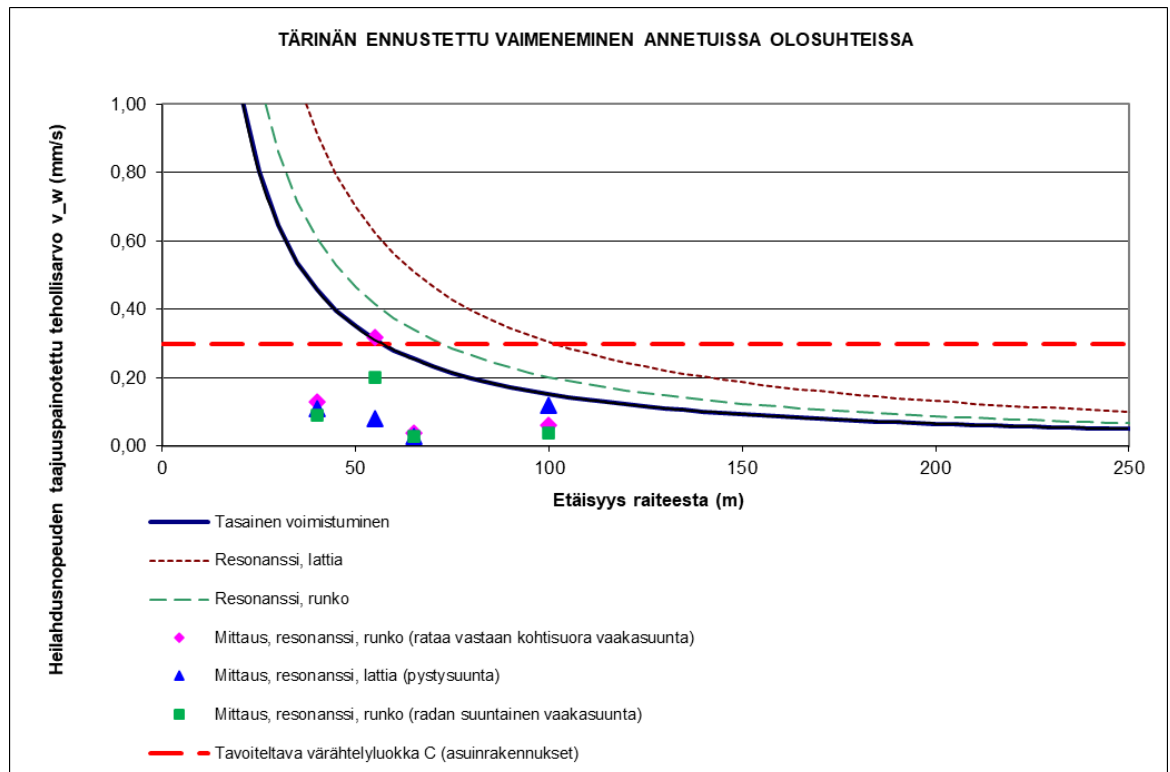
Julkaisun "Ohjeita liikennetärinän arviointiin" (VTT Tiedotteita 2569, Espoo 2011) mukaan mikäli tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio sisätilojen värähtelystä on suurempi kuin tavoitteena oleva enimmäisraja värähtelyn tunnusluvulle, pitää varautua rakennuspaikan käyttötarkoituksen muuttamiseen tai värähtelyn vaimentamiseen. Mikäli tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio sisätilojen värähtelystä täyttää tavoitteen, mutta rungon tai lattian resonanssiin perustuva arvio on tavoitearvoa suurempi, suunnitellaan rakennuksen runko ja lattia siten, että ominaistajuus ei satu maaperän värähtelyn dominoivalle taajuusalueelle.

Tutkimusraportin VTT-R-04703-14 (Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumismallitus) mukaan kovissa maaperissä värähtelyssä hallitsevat yli 10 Hz taajuudet ja värähtely on laajakaistaista. Silloin vaakavärähtely ei yleensä voimistu rungossa ja latioissakin voimistuminen voidaan olettaa vähäiseksi. Rakennukseen siirtyvä tärinä tulee kuitenkin aina olettaa vähintään samansuuruiseksi kuin maaperässä, vaikka todellisuudessa värähtely voikin jossain määrin vaimeta rakennukseen siirtyessään.

Kuvissa 4.1 ja 4.2 on esitetty tavarajunista aiheutuva rakenteissa esiintyvä laskennallinen heilahdusnopeus v_{RMS} etäisyyden funktiona tarkasteltavien maalajien tapauksessa. Kuvissa on lisäksi esitetty selvitysalueelle aikaisemmin laaditun mittauksiin perustuvan selvityksen mukaiset tärinän tunnusluvut $v_{w,95}$. Mittaukset on suoritettu Tesoman rautatiekorttelin asemakaavamuutoksen nro 8527 yhteydessä Tesoman lähijunapysäkin koillispuolelle. Kuvassa 2.2 esitetyn GTK:n maaperäkartan perusteella maaperä ko. alueella vastaa hyvin yleisesti visiosuunnitelman selvitysalueen maaperäolosuhteita.



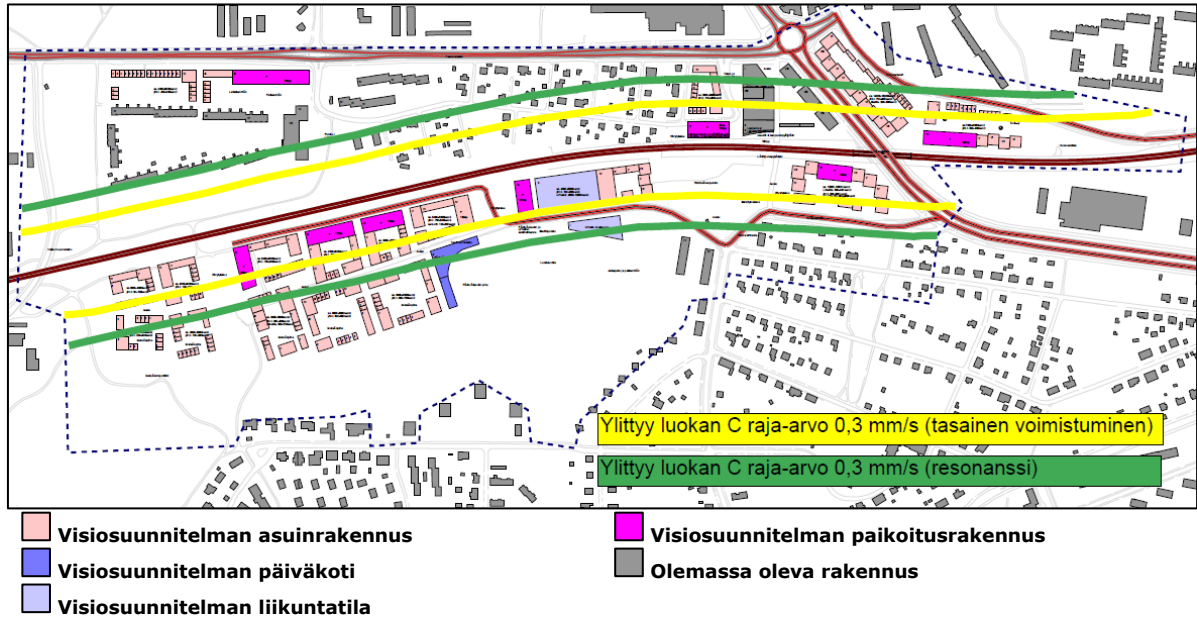
Kuva 4.1. Maalajin karkearakeinen (Hk, Sr, HkMr, SrMr) tapauksessa rakennusten tärinän voimakkuus etäisyyden funktiona ja asumismukavuutta kuvaavan värähtelyluokituksen asuinrakennuksille sovellettava raja-arvo.



Kuva 4.2. Välimalajien (karkeaSi, hkSi, siHk, hienoHk) tapauksessa rakennusten tärinän voimakkuus etäisyyden funktiona ja asumismukavuutta kuvaavan värähtelyluokituksen asuinrakennuksille sovellettava raja-arvo.

Tärinän kannalta merkittävintä on välimaalajien kautta siirtyvä värähtely. Välimaalajin oletuksella uusille asuinrakennuksille sovellettava tavoiteltavan värähtelyluokan C mukainen raja-arvo voi ylittyä etäisyyden rataan ollessa alle 100 metriä resonanssin tapauksessa ja etäisyyden ollessa alle 60 metriä tasaisen voimistumisen tapauksessa. Kuvan 2.2 maaperäkartan perusteella hallitseva maalaji on erityisesti radan lähetyvillä välimaalajeihin lukeutuvaa (siltti). Hallitseva maalaji vaihtuu yleisesti kovemmaksi suunnittelualueen pohjois- ja eteläosissa. Siten välimaalajin oletus antaa hyvän yleisarvion tärinän voimakkuudesta suunnittelualueella. Suunnittelualueen länsipuolella oletus voi kuitenkin yliarvioida tärinän voimakkuutta sillä hallitseva maalaji vaihtuu kovempaan maalajiin lähempänä rataa.

Kuvassa 4.3 on esitetty alueet missä edellä mainittu tärinän raja-arvo voi ylittyä välimaalajin oletuksella.



Kuva 4.3. Tärinäalueet välimaalajin tapauksessa. Tärinän raja-arvo $v_{w,95}$ 0,3 mm/s (Luokan C raja-arvo: uudisasuinrakentaminen) voi ylittyä keltaisen viivojen rajaamalla alueella tasaisen voimistumisen oletuksella ja vastaavasti vihreiden viivojen rajaamalla alueella resonanssin oletuksella (pahin mahdollinen tilanne).

Kuvassa 4.3 vihreiden viivojen ja katkoviivojen (selvitysalueen raja) rajaamalla alueella radan molemmiin puolin rakennuksissa esiintyvä liikennetärinä ei todennäköisesti ylitä värähtelyluokan C raja-arvoa $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s, johon pyritään uusien asuinrakennusten suunnittelussa (lisäksi päiväkodit ja hotellit). Näillä ko. alueella tärinä on vähäistä ja ei edellytä toimenpiteitä.

Selvitysalueen muilta osin eli kuvassa 4.3 vihreiden viivojen rajaamalla alueella liikennetärinä voi ylittää värähtelyluokan C mukaisen raja-arvon $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s. Siten ko. alueella tulee asuinrakennusten (lisäksi päiväkodit ja hotellit) suunnittelussa ottaa huomioon mahdollinen tärinähaitta asumismukavuuden kannalta. Arviointia asumismukavuuden kannalta ei sovelleta rakennuksille, jossa ihmiset ovat pääasiassa liikkeellä tai muut häiriöt voivat olla merkittävämpiä, kuten esimerkiksi pysäköintirakennuksille eikä lähtökohtaisesti myöskään liikuntarakennuksille. Liikuntarakennuksille voidaan kuitenkin tapauskohtaisesti soveltaa suositusraja-arvona $v_{w,95} \leq 0,6$ mm/s tai suurempia arvoja.

Mikäli tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio tärinän voimakkuudesta ylittää sovellettavan raja-arvon (kuva 4.3 asuinrakennukset, keltaisella rajattu alue), pitää varautua siihen, että tärinänvaimennusratkaisuja tarvitaan esim. rakennusten perustuksiin. Mikäli sovellettava raja-arvo ylittyy ainoastaan resonanssitarkastelun perusteella, erilliset vaimennusratkaisut eivät todennäköisesti ole tarpeellisia, mutta mahdollinen tärinähaitta tulee silti huomioida rakennussuunnittelussa, siten että haitallista resonanssia ei pääse tapahtumaan (rakennuksen rungon ja lattian ominaistaajuus).

Kuvasta 4.1 ja 4.2 nähdään, että tärinä on yleensä voimakkainta radan lähellä ja vaimenee voimakkaasti radan läheisyydessä siirryttäessä kauemmas radasta. Siten radan lähellä rakennusten keskinäisellä sijoittelulla voidaan vaikuttaa huomattavasti rakennukseen aiheutuvan tärinän voimakkuuteen. Visiosuunnitelmassa onkin sijoitettu huomattavasti pysäköintirakennuksia lähemmäs rataa asuinrakennusten sijaan. Tästä huolimatta useita asuinrakennuksia on suunniteltu pysäköintirakennusten rinnalle radan läheisyyteen, jolloin näiden rakennusten tapauksessa todennäköisimmin tullaan tarvitsemaan tärinänvaimennustoimenpiteitä.

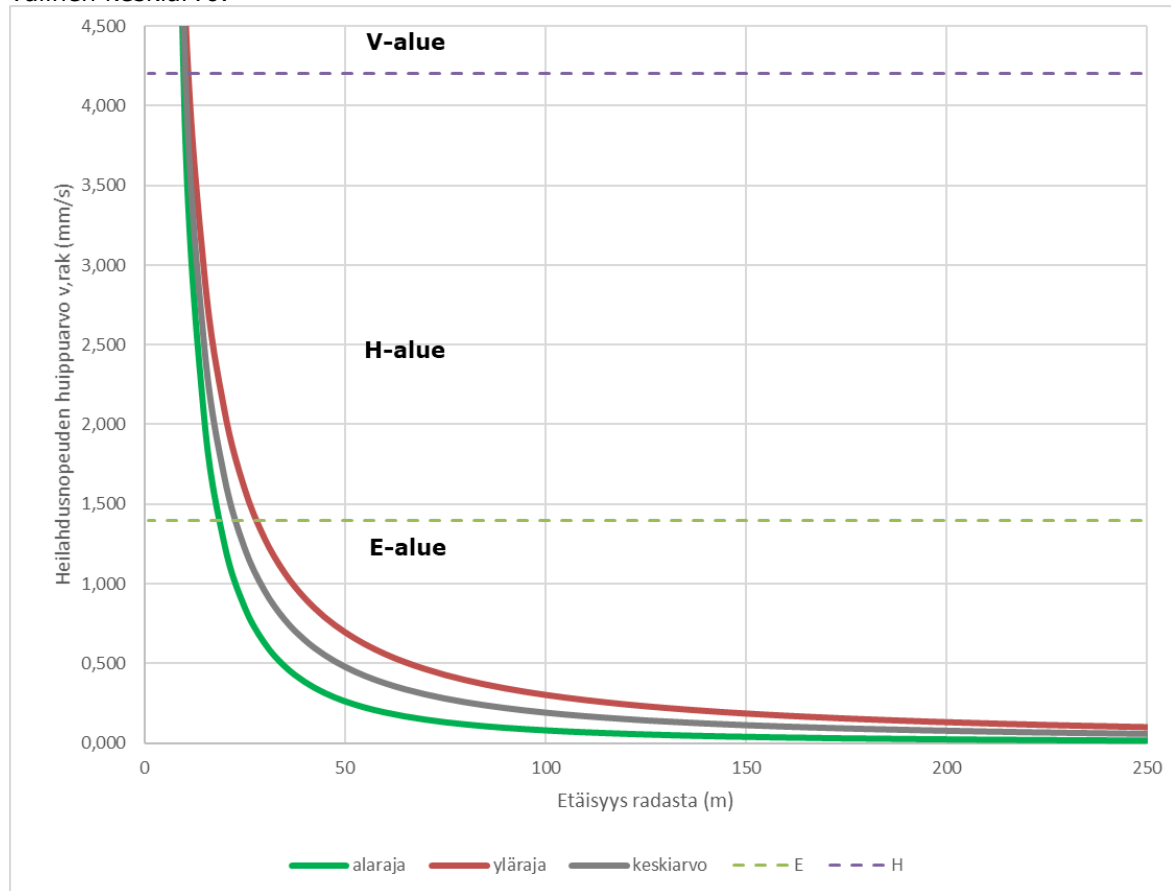
Selvitysalueen lounaisosaan radan varteen on suunniteltu huomattavasti tiivistä asuinrakentamista alueelle, jossa liikennetärinä voi ylittää värähtelyluokan C mukaisen raja-arvon $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s. Tällä alueella voidaan harkita maaperään tehtäviä alueellisia tärinän vaimennustoimenpiteitä kuten ns. tärinäesteen toteuttamista, jolloin on mahdollista vaimentaa liikennetärinää alueen rakennuksiin.

Asemakaavoituksen yhteydessä on kuitenkin mahdollista ja suositeltavaa tehdä kunkin kaava-alueen osalta tarkempi selvitys tärinän ja runkomelun huomioimisesta, jossa voidaan hyödyntää myös tärinä- ja runkomelumittauksia.

Rakenteiden vaurioitumisalttius

Tärinän aiheuttamaa rakenteiden vaurioitumisalttiutta luokitellaan maaperän värähtelyn huippuarvojen $v_{\max}$ perusteella. Tyypillisesti huippuarvo on noin kaksinkertainen 1s tehollisarvoon V_{RMS} verrattuna.

Kuvassa 4.4 on esitetty rakenteissa esiintyvä laskennallinen heilahdusnopeuden enimmäisarvo $v_{\max}$ etäisyyden funktiona sekä sovellettu rakenteiden vaurioitumisalttiutta kuvaavan luokituksen raja-arvot. Tarkasteltavat tapaukset ovat värähtelyn laskennalliset ylä- ja alarajat sekä näiden välinen keskiarvo.

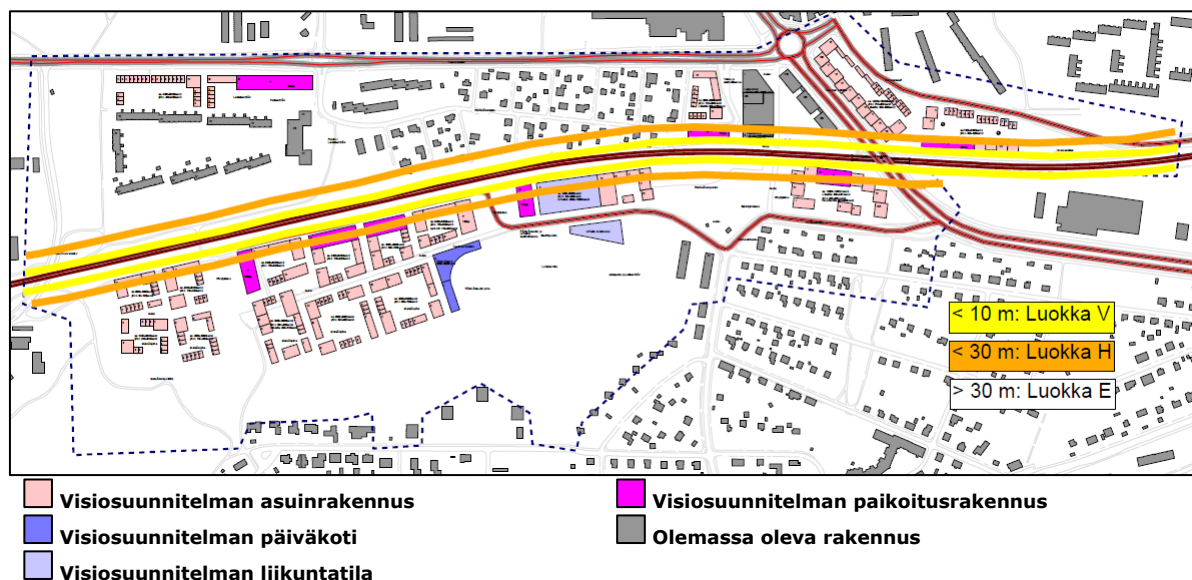


Kuva 4.4. Rakennusten laskennallinen heilahdusnopeuden huippuarvo $v_{\max}$ ja rakenteiden vaurioitumisalttiutta kuvaava luokituksen raja-arvot (sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka 10-20 Hz).

Maaperäkartan (kuva 2.2) perusteella maaperä on siltistä radan läheisyydessä lähes koko suunnittelualueella, joten rakenteiden vaurioitumisalttiuden arviointi tehdään kuvan 4.4 kuvaajan perusteella (yläraja). Laskennallisten tarkastelun perusteella etäisyyden ollessa vähintään noin 30 metriä radan keskilinjasta sijoitetaan vaurioitumisalttiuden kannalta parhaaseen luokkaan E. Vastaavasti etäisyyden ollessa noin 10...30 metriä radan keskilinjasta sijoitetaan vaurioitumisalttiuden kannalta luokkaan H.

Täten selvitysalueella suunniteltaessa rakennuksia noin 30 metrin etäisyydelle tai lähemmäs radan keskilinjasta on olemassa riski rakennusten rakenteellisesta vauriosta.

Kuvassa 4.5 on merkitty vaurioitumisalttiuden luokituksen mukaiset tärinäalueet selvitysalueella.



Kuva 4.5. Vaurioitumisalttiuden luokituksen mukaiset tärinäalueet. Keltaisen viivojen rajaamalla alueella sijoitetaan luokkaan V ja vastaavasti oranssien viivojen rajaamalla alueella sijoitetaan luokkaan H.

Selvitysalueelle on suunniteltu rakennuksia alle 30 metrin etäisyydellä radasta, jolloin on olemassa riski rakennusten rakenteellisesta vauriosta. Näiden radan välittömään läheisyyteen suunniteltavien rakennusten tapauksessa tulee huomioida suunnittelussa mahdollinen vaurioitumisalttius, riippumatta siitä tehdäänkö ko. rakennuksille runkomelun ja tärinän arviointia asumismukavuuden kannalta.

5. RUNKOMELUTARKASTELUT

5.1 Ohjearvot ja arviointiperusteet

VTT:n julkaisua ”Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, VTT Tiedotteita 2468, Espoo, 2009” käytetään Suomessa yleisesti liikenteestä aiheutuvan runkomelun arvioinnissa. Julkaisussa esitetään runkomelun kolmetasoinen arviointimenettely, joista tarkin taso perustuu tunnusluvuun, joka määritetään mittaustulosten perusteella. Taulukossa 5.1 on esitetty suositus Suomessa käytettävistä runkomelutasojen raja-arvoista.

Taulukko 5.1: VTT:n suosittelemat runkomelun ohjearvot.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm} [dB]
Radio- tv- ja äänitysstudiot, konserttitalit	25...30
Asuinhuoneistot	30 / 35*
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat - potilashuoneet, majoitustilat - päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet	30 / 35*
Kokoontumis- ja opetustilat - luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman ääntöistolaiteiden käyttöä - muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40 / 45*

*Avoradat. Mikäli kaavamääräyksellä on annettu ohje julkisivun ilmaääneneristävyydestä, on suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.

Suosituksen raja-arvoja asetettaessa tavoitteena on ollut häiriövaikutuksen rajoittaminen miniiniin. Koska häiriövaikutuksen on havaittu syntyvän, kun $L_{pASmax} \geq 35$ dB, raja-arvot ovat asunnoissa tätä pienemmät.

Ympäristöministeriön ääniympäristöohjeessa (2018) annetaan maaperäiselle runkomelutasolle L_{prm} ohjearvo 30 dB ja avoradoilla 35 dB.

Kuten liikennetärinälle, myös runkomelulle on esitetty kolme eri arviointitasoa. Arviointitaso 1 perustuu turvaetäisyyden käyttöön. Kokemuseräisesti on voitu määrittää etäisyys, jota kauempana tarkempi runkomelutarkastelu ei enää ole tarpeen.

Arviointitasossa 2 tehdään värähtelyn siirtotiehen perustuva laskennallinen arviointi. Laskelma on hyvin empiirinen ja perustuu kokemuksiin tyypillisistä mittaustuloksista.

Arviointitasossa 3 runkomelu todennetaan mittaamalla.

5.2 Runkomelutarkastelut, arviointitaso 1

Julkaisussa Talja & Saarinen (2009): "Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi" (VTT T2468) on esitetty arviointitason 1 etäisyydet (taulukko 5.2). Taulukon avulla voidaan määrittää etäisyys väylästä, jota kauempana runkomelutason voidaan katsoa olevan alle 35 dB (pintaväylä) tai alle 30 dB (kalliotunneli)

Taulukko 5.2. Runkomelun turvaetäisyydet (Talja & Saarinen 2009, VTT T2468)

Liikennetyyppi	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, 50 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	30 m
Tavarajuna, 100 km/h	60 m	160 m	>200 m	30 m

Taulukossa 5.2 maapohja on oletettu samaksi väylän ja rakennuksen alla ja sen paksuuden on oltava vähintään 3 m. Taulukosta 5.2 parhaiten tulee kyseeseen tavarajuna 100 km/h. Tarkempi laskennallinen tarkastelu on kuitenkin tarpeen.

5.3 Runkomelutarkastelut, arviointitaso 2

Laskennallisen arviointitason perustana on Julkaisussa Talja & Saarinen (2009): "Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi" (VTT T2468) esitetty ns. äänitason peruskäyrä L_v , jonka arvoa korjataan värähtelyn aiheuttajasta, siirtotiestä ja rakennuksesta riippuvilla nopeustason korjaustekijöillä. Laskennallinen sisätilojen runkomelutaso L_{pA} saadaan peruskäyrän ja yhteenlaskettujen korjaustekijöiden avulla:

Taulukkoon 5.3 on kerätty suunnittelukohteessa valitut äänenpainetaso korjaustekijät.

Taulukko 5.3. Laskennassa käytetyt korjaustekijät.

Korjaustekijät	Korjauksen vaikutus [dB]
Liikennetyyppi: veturivetoiset junat	+11
Ajonopeus: 30 km/h	-2
Matkustajajunat: normaali jousitus	0
Tavarajunat: Jäykkä jousitus	8
Hyväkuntoinen rata	0
Radan eristämistapa: ei eristystä	0
Väylän sijainti: avorata	0
Rakennuksen tyyppi: kerrostalo	-10
Rakennusosien resonanssin vaikutus	+6
Muunnos äänenpainetasoksi	-28
Muunnos A-painotetuksi äänenpainetasoksi (alaraja) hallitseva taajuusalue 30-60 Hz	-35
Muunnos A-painotetuksi äänenpainetasoksi (yläraja) hallitseva taajuusalue yli 60 Hz	-20
Varmuusmarginaali	+6

Laskennan maalajien oletukset

Välimalalajit (karkeaSi, hkSi, siHk, hienoHk)

- kerrostalo, perustuksen ja kallion välissä maa-ainesta ≥ 3 m (-10 dB)

Karkearakeinen (Hk, Sr, HkMr, SrMr) tai kallio

- kerrostalo, perustuksen ja kallion välissä maa-ainesta ≥ 3 m (-10 dB)

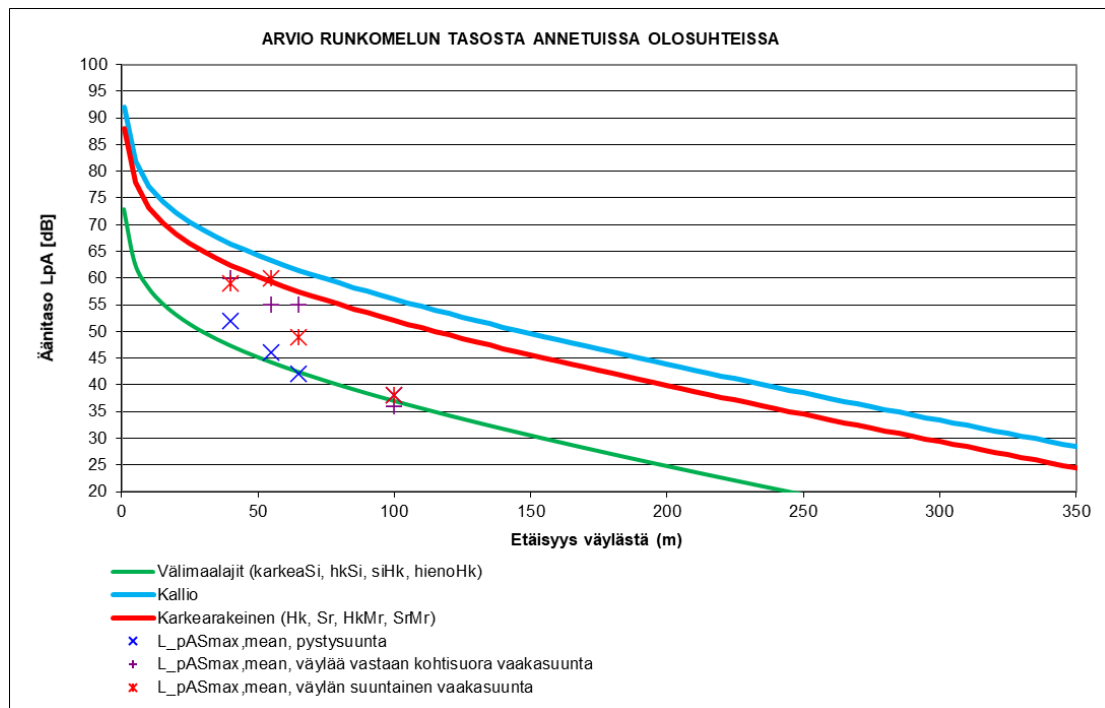
Kallio

- kalliolle perustettu rakennus / paaluperustus tai perustuksen ja kallion välissä maa-ainesta < 3 m (0 dB)
- ei resonanssia (0dB)

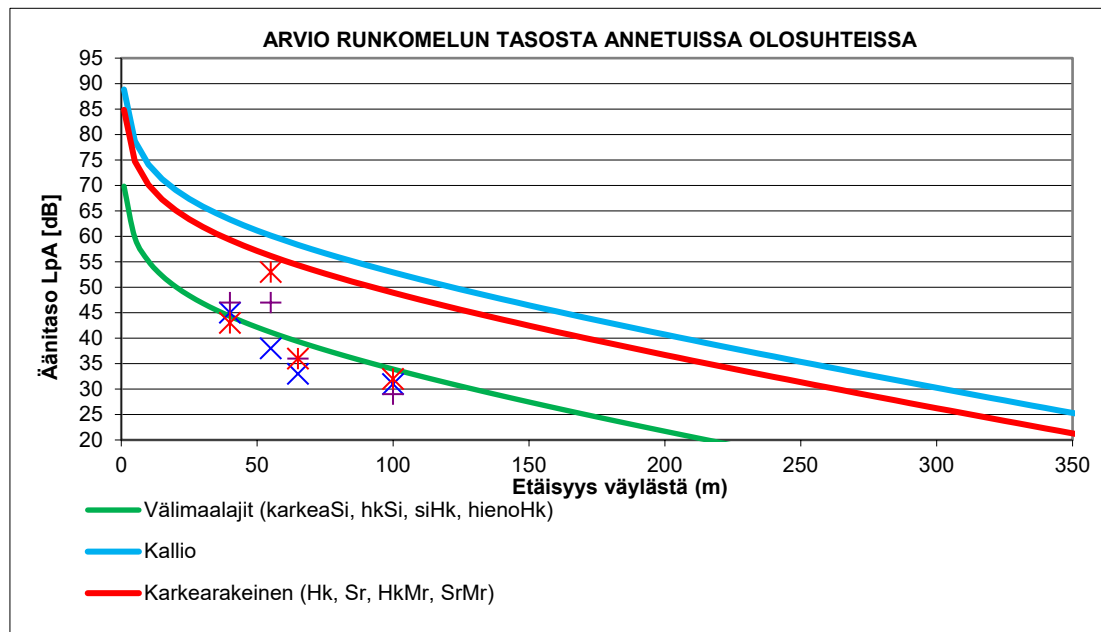
Mikäli perustuksen ja kallion välinen maa-aines kerros on ohut (alle 3 m), runkomelutaso voi kasvaa laskentamenetelmän perusteella 10 dB verran. Toisaalta kallion kautta siirtyvän värähtelyn tapauksessa rakennuksille ei oleteta resonanssia (+6 dB), sillä tyypillisesti kallion kautta välittyvät värähtelytaajuuudet ovat huomattavasti korkeampia kuin rakennusten rungon ominaistaajuuudet.

Nykytilanteessa kaikki rataosuudella kulkevat henkilöliikenteen junat pysähtyvät Tesoman lähijunapysäkillä. Täten nykytilanteessa tavarajunat ovat lähijunapysäkin läheisyydessä mitoittava junatyyppi. Tavarajunien nopeutena on käytetty 80 km/h. Tulevaisuudessa henkilöliikenteen pikajunat voivat mahdollisesti ajaa Tesoman aseman ohi pysähtymättä. Näiden osalta nopeutena on käytetty nopeusrajoituksen mukaista 140 km/h.

Kuvissa 5.1 ja 5.2 on esitetty tavarajunista ja henkilöliikenteen junista aiheutuva laskennallinen sisätilojen runkomelutaso tehdyillä oletuksilla etäisyyden funktiona. Kuvassa on lisäksi esitetty selvitysalueelle aikaisemmin laaditun mittauksiin perustuvan selvityksen mukaiset runkomelutasot. Mittaukset on suoritettu Tesoman rautatiekorttelin asemakaavamuutoksen nro 8527 yhteydessä Tesoman lähijunapysäkin koillispuolelle.



Kuva 5.1. Laskennallinen (T) tavarajunista aiheutuva sisätilojen runkomelutaso sekä aikaisemman selvityksen (A-Insinöörit, 31.1.2017) mittausten (tavarajunat) perusteella arvioidut runkomelutasot.



Kuva 5.2. Laskennallinen (IC) henkilöliikenteen junista aiheutuva sisätilojen runkomelutaso sekä aikaisemman selvityksen (A-Insinöörit, 31.1.2017) mittausten (IC) perusteella arvioidut runkomelutasot.

Suunnittelualueelle aiemmin tehdyn selvityksen (AINS, 31.1.2017) mukaan suurimmat runkomelutasot aiheutuivat tavarajunista. Tässä selvityksessä tämä on otettu huomioon tavarajunien laskentakertoimessa (jäykkä jousitus + 8 dB), jolloin tavaraja- ja henkilöliikenteen junien laskentatulosten keskinäinen ero vastaa paremmin mittaustuloksia.

Kuvista 5.1 ja 5.2 nähdään, että suunnittelualueelle tehdyn laskennallisten tarkastelun perusteella henkilöliikenteen junista ja tavarajunista aiheutuvan runkomelun voimakkuus on hyvin samaa suuruusluokkaa. Runkomelun kannalta merkittävimpiä ovat kuitenkin tavarajunat.

Rakennuksille sovellettavat runkomelutason raja-arvot on esitetty taulukossa 5.1. Osalle rakennustyypeistä suositellaan sovellettavan joko normaalia tai 5 dB verran tiukempaa runkomelutason raja-arvoa, sen perusteella onko kyseessä avorata tai koskeeko rakennusta asemakaavamääräys julkisivun ilmääneneristävytydestä. Asuinrakennuksille sovellettavat raja-arvot ovat 30/35 dB. Toimistoille, kauppoille, näyttelytiloille ja museoille sovellettavat raja-arvot ovat 40/45 dB.

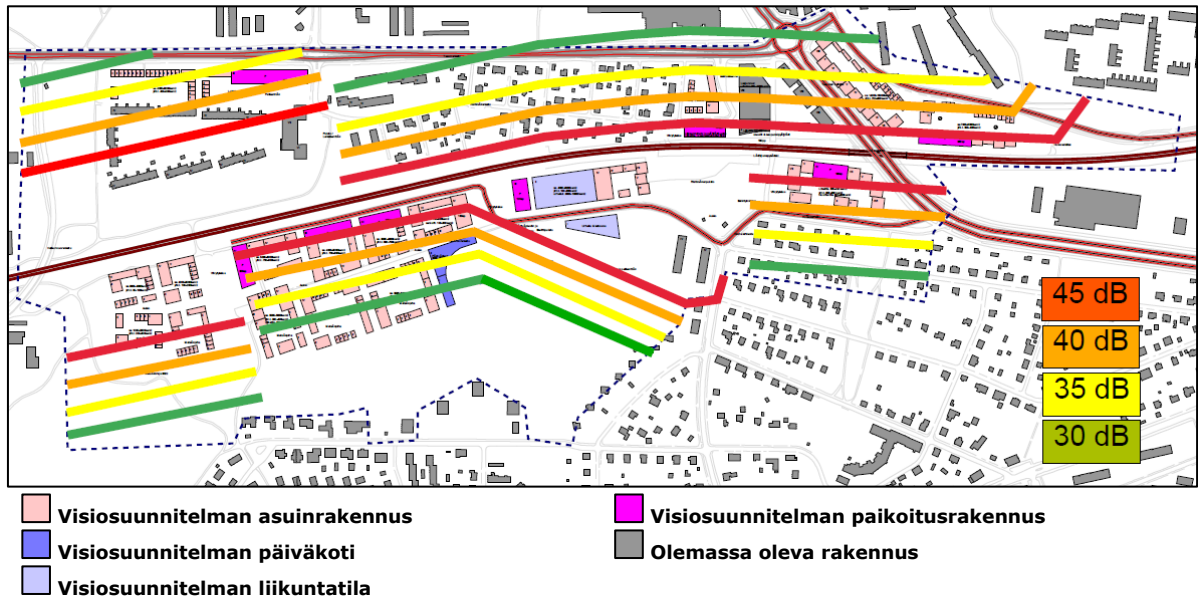
Kuvasta 5.1 nähdään, että maaperäolosuhteet vaikuttavat merkittävästi rakennukseen siirtyvään runkomelutasoon. Alueen maaperäkartan (kuva 2.2) perusteella maaperä radan läheisyydessä on enimmäkseen karkeaa hietaa (siltti). Paikoin maaperä on moreenimaata ja kallioista. Runkomelu voi olla erityisen voimakasta juna-aseman lounaispuolella, jossa on kallioita. Runkomelu siirtyy tehokkaasti tällaisessa tapauksessa tai paaluperustuksen tapauksessa. Suunnittelualueen länsisiosassa radan molemmin puolin on kallio- sekä moreenimaata, joten runkomeluhaitta on mahdollinen myös suunnittelualueen lounais- ja luoteisosissa.

Taulukossa 5.4 on esitetty laskennallisen tarkastelun perusteella määritetyt etäisyydet radan keskikilinjasta, joilla saavutetaan sovellettava runkomelutason raja-arvo tavarajunan (80 km/h) ja eri maalajien tapauksissa.

Taulukko 5.4. Etäisyyden radasta vaikutus laskennalliseen runkomelutasoon eri maalajien tapauksessa (tavarajunat 80 km/h).

Maalaji	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB
Välimaalajit	155 m	115 m	80 m	50 m
Karkearakeinen	290 m	245 m	195 m	155 m
Kallio	330 m	280 m	235 m	190 m

Kuvassa 5.3 on esitetty suuntaa antava arvio raideliikenteen aiheuttamasta runkomelusta (tavarajunat) suunnittelualueella.



Kuva 5.3. Runkomelualueet. Laskennassa hallitsevan maalajin on oletettu vaihtelevan suunnittelualueella (moreeni, siltti ja kallio). Runkomelun raja-arvo: asuinrakennukset 30/35 dB ja liike- ja toimistorakennukset 40/45dB.

Kuvassa 5.3 on otettu huomioon yleispiirteisesti maaperän vaihtelevuus suunnittelualueella, joka vaikuttaa muodostuneisiin runkomelualueisiin radan varrella. Suunnittelualueen länsipuolella hallitsevan maalajin on oletettu olevan moreenia ja suunnittelualueen keskivaiheilla radan eteläpuolella kallion on oletettu olevan lähellä maan pintaa. Muilta osin maaperän on oletettu olevan silttiä.

Kuvan 5.1 mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että välimaalajien (kuva 5.2 siltti) laskennallinen arvio voi aliarvioida aiheutuvaa runkomelutasoa ainakin juna-aseman alueella erityisesti etäisyyden rataan ollessa alle 100 metriä. Toisaalta runkomelutaso voi vaimentua etäisyyden funktiona laskentamenetelmän oletusta voimakkaammin.

Kuvan 5.3 perusteella runkomelun tiukempi raja-arvo 30 dB ylittyy valtaosassa visiosuunnitelman asuinrakennuksia. Sen sijaan 35 dB raja-arvo täyttyy osassa radan eteläpuolen asuinkortteleita sekä pienellä osin suunnittelualueen koillisosassa. Päiväkotirakennuksen osalta ylittyy osin myös korkeampi raja-arvo 35 dB (sovelletaan samoja raja-arvoja kuin asuinrakentamisessa). Mikäli asemakaavassa esitetään vaatimus ulkovaipan ääneneristävyydestä, on suositeltava soveltaa runkomelutason tiukempaa raja-arvoa (asuin- ja päiväkotirakennukset 30 dB).

Suunniteltu rakentaminen on keskittynyt radan läheisyyteen ja laskennallisen tarkastelun perusteella runkomeluhaitta koskee lähes koko selvitysalueen suunniteltua asuin- ja päiväkotirakentamista. Runkomelutaso alittaa sallitun rajan ainoastaan kortteleiden kaukaisimmissa rakennuksissa. Siten selvitysalueella radan molemmiin puolin asuin- ja päiväkotirakentamisessa tulee ottaa huomioon junista aiheutuva mahdollinen runkomeluhaitta.

6. TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tärinä

Kuvasta 4.1 ja 4.2 nähdään, että tärinä on yleensä voimakkainta radan lähellä ja vaimenee voimakkaasti radan läheisyydessä siirryttäessä kauemmas radasta. Useita asuinrakennuksia on suunniteltu radan läheisyyteen, jolloin näiden rakennusten tapauksessa todennäköisimmin tullaan tarvitsemaan tärinänvaimennustoimenpiteitä.

Kuvassa 4.3 vihreiden viivojen rajaamalla alueella (n. 100 metriä radasta) tulee asuinrakennusten ja päiväkodin suunnittelussa ottaa huomioon mahdollinen tärinähaitta asumismukavuuden kannalta. Arviointia asumismukavuuden kannalta ei sovelleta rakennuksille, jossa ihmiset ovat pääasiassa liikkeellä tai muut häiriöt voivat olla merkittävämpiä, kuten esimerkiksi pysäköintirakennuksille.

Alueella, missä tasaiseen voimistumiseen perustuva arvio tärinän voimakkuudesta ylittää sovellettavan raja-arvon (kuva 4.3 asuinrakennukset, keltaisella rajattu alue), pitää varautua tärinän vaimentamiseen. Alueella, missä sovellettava raja-arvoa ylittyy ainoastaan resonanssitarkastelun perusteella, vaimennustarve ei ole todennäköinen, mutta mahdollinen tärinähaitta on syytä huomioida rakennussuunnittelussa.

Liikuntarakennuksille voidaan tapauskohtaisesti soveltaa suosituksena luokan D raja-arvoa $v_{w,95} \leq 0,6$ mm/s tai suurempia arvoja mikäli on syytä epäillä, että tärinä voi aiheuttaa häiriötä. Radan varteen suunniteltavan liikuntarakennuksen osalta luokan D raja-arvo saattaa ylittyä. Siten suositellaan mahdollisen tärinähaitan ottamista huomioon sen suunnittelussa.

Selvitysalueelle on suunniteltu rakennuksia alle 30 metrin etäisyydellä radasta, jolloin on olemassa riski rakennusten rakenteellisesta vauriosta. Näiden radan välittömään läheisyyteen suunniteltavien rakennusten tapauksessa tulee ottaa huomioon suunnittelussa mahdollinen vaurioitumisalttius, riippumatta siitä tehdäänkö ko. rakennuksille runkomelun ja tärinän arviointia asumismukavuuden kannalta.

Runkomelu

Kuvan 5.3 perusteella runkomelun tiukempi raja-arvo 30 dB ylittyy valtaosassa visiosuunnitelman asuinrakennuksia. Sen sijaan 35 dB raja-arvo täyttyy osassa radan eteläpuolen asuinkortteleita sekä pienellä osin suunnittelualueen koillisosassa. Päiväkotirakennuksen osalta ylittyy osin myös korkeampi raja-arvo 35 dB (sovelletaan samoja raja-arvoja kuin asuinrakentamisessa). Mikäli asemakaavassa esitetään vaatimus ulkovaipan ääneneristävyydestä, on suositeltava soveltaa runkomelutason tiukempaa raja-arvoa (asuin- ja päiväkotirakennukset 30 dB).

Suunniteltu rakentaminen on keskittynyt radan läheisyyteen ja laskennallisen tarkastelun perusteella runkomeluhaitta koskee lähes koko selvitysalueen suunniteltua asuin- ja päiväkotirakentamista. Runkomelutaso alittaa sallitun rajan ainoastaan kortteleiden kaukaisimmissa rakennuksissa. Siten selvitysalueella radan molemmin puolin asuin- ja päiväkotirakentamisessa tulee ottaa huomioon junista aiheutuva mahdollinen runkomeluhaitta.

Johtopäätökset

Tässä työssä on selvitetty laskennallisen tarkastelun perusteella raideliikenteestä aiheutuvan tärinän ja runkomelun voimakkuus alueella yleispiirteisesti. Tärinän ja runkomelun laskennalliseen tarkasteluun liittyvä epävarmuus on huomattavasti merkittävämpää kuin esimerkiksi meluselvitysten melumallinnusten epävarmuus. Todellinen tärinän ja runkomelun voimakkuus voi vaihdella huomattavasti pienelläkin alueella riippuen mm. maaperän vaihtelevuudesta. Tarkka arvio tärinän ja runkomelun voimakkuudesta on mahdollista saada maaperästä tai perustuksista tehtävillä värähtelymittauksilla.

Selvityksessä on esitetty selvitysalueella laskennallinen tärinän ja runkomelun voimakkuus etäisyyden funktiona. Selvitysalueelle on suunniteltu huomattavasti asuinrakennuksia sellaiselle etäisyydelle radasta, jossa tärinä- ja runkomeluhaitan mahdollisuus on suuri ja tulee siten ottaa huomioon jatkosuunnittelussa. Asemakaavoituksen yhteydessä on suositeltavaa tehdä kunkin kaava-alueen osalta selvitys tärinän ja runkomelun huomioon ottamisesta. Tällöin voidaan hyödyntää myös tärinä- ja runkomelumittauksia harkinnan mukaan, jolloin on mahdollista saada huomattavasti tarkempi arvio runkomelun ja tärinän voimakkuudesta alueella.

Tärinä ja runkomelu on yleisesti voimakkainta radan lähellä ja vaimenee voimakkaasti radan läheisyydessä siirryttäessä kauemmas radasta. Siten radan lähellä rakennusten keskinäisellä sijoittelulla voidaan vaikuttaa huomattavasti rakennukseen aiheutuvan värähtelyn voimakkuuteen. Visiosuunnitelmassa onkin sijoitettu huomattavasti mm. pysäköintirakennuksia lähemmäs rataa asuinrakennusten sijaan. Tästä huolimatta useita asuinrakennuksia on suunniteltu radan läheisyyteen, ja rakennusten tapauksessa todennäköisimmin tullaan tarvitsemaan tärinän ja runkomelun vaimennusratkaisuja.

Selvitysalueen lounaisosaan radan varteen on suunniteltu huomattavasti tiivistä asuinrakentamista alueelle, jossa selvityksen mukaan mahdollinen liikennetärinä ja runkomeluhaitta tulee ottaa huomioon jatkosuunnittelussa. Erityisesti tällä alueella voidaan harkita maaperään tehtäviä alueellisia tärinän ja runkomelun vaimennustoimenpiteitä kuten ns. tärinäesteen toteuttamista maaperään suojattavien rakennusten ja radan väliin, jolloin on mahdollista vaimentaa liikennetärinää ja runkomelua kustannustehokkaammin kuin rakennuksen perustuksiin asennettavilla tärinä- ja runkomelueristimillä.

LÄHTEET

Talja, A. 2011: Ohjeita liikennetärinän arviointiin, VTT T2569

Talja, A. & Saarinen, A. 2009: Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, VTT T2468

Talja, A. & Törnqvist, J. 2014: Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius. VTT R-04703-14

Talja, A, Vepsä, A, Kurkela, J & Halonen, M. 2008: Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT T2425

Törnqvist, J & Talja, A. 2006: Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa

Ympäristöministeriö, 2017: Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä

Ympäristöministeriö, 2018: Ympäristöministeriön ääniympäristöohje

A-Insinöörit Suunnittelu Oy, 31.1.2017: Tesoman rautatiekorttelin asemakaavamuutoksen nro 8527 tärinä- ja runkomeluserelvitys