

[Etusivu](#) » **Melu, värinä ja runkomelu**

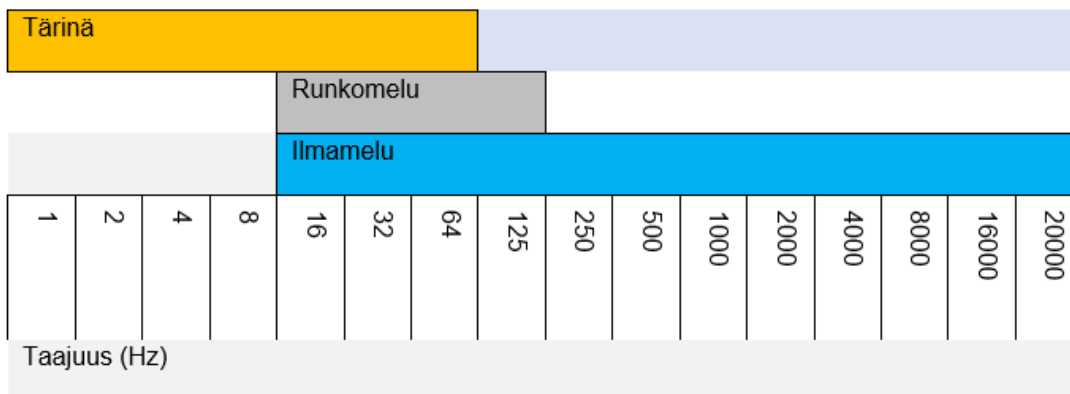
Pääkaupunkiseudun raitiotien suunnitteluohje

Melu, värinä ja runkomelu

Kaupungistuneeseen ympäristöön suunnitellun ja toteuttavan raitiotien ympäristö on usein jo nykytilassaan rakennettu täyteen tai se tullaan saattamaan tähän tilaan myöhemmin. Koska raitiotie voi tiettyjen reunaehtojen täytyessä vaikuttaa ympäristöönsä tuottamalla siihen mahdollisesti melua, värinää ja runkomelua on ympäristövaikutukset huomioitava myös näiden osalta hankkeen alusta lähtien. Suunnittelussa tulee myös huomioida kaikki erityisen herkäät kohteet, joille ei välttämättä ole virallisia ohje- tai suositusarvoja, kuten tutkimustilat, studiot jne.

Melun, värinän ja runkomelun synty tapa on saman suuntainen. Värähtelyä syntyy pyörien ja kiskojen vuorovaikutuksesta, joka säteilee ympäristöönsä joko suoraan ilmaäänä, tai siirtyy ratarakenteiden kautta maaperään ja etenee sitä kautta rakennuksiin aistittaviksi tuntemuksiksi.

Värähtelyjen siirtyminen riippuu huomattavasti melun taajuusalueesta. Yleissääntönä voidaan todeta, että värähtelyn taajuuden kasvaessa suurempi osa välittyy ilmaäänä ja vastaavasti taajuuden laskiessa suurempi osa välittyy ympäristöön rakenteiden kautta. Värähtelyihin pätee myös yleisesti, että mitä korkeampi värähtelytaajuus, sitä pienempi raitiotiejärjestelmän värähtelevä osa.



Kuva 1. Tärinän, runkomelun ja ilmamelun värähtelyn taajuus.

Taajuusalue	Melutyyppi	Värähtelevä osa
Hyvin korkea	Laippakirskunta	Pyörän laippa
Korkea	Pyörän soiminen	Pyörä
Keskikorkea	Kiskon soiminen	Kisko
Matala	Päällysrakenteen värähtely	Päällysrakenne
Hyvin matala	Runkomelu	Koko ratarakenne

Taulukko 1. Taajuusalue, melutyyppi ja värähtelevä raitiotien osa.

Melu

Melua koskevat vaatimukset

Raitiotien meluntorjunnan suunnittelun perusteina toimivat valtioneuvoston päätöksen (993/1992) melutason ohjearvot. Melun ohjearvot on tarkoitettu käytettäväksi maankäytön, liikenteen ja radan rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä.

Ohjearvot ulkona	Päivällä $L_{Aeq, 7-22}$	Yöllä $L_{Aeq, 22-7}$
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja taajamien välittömässä	55 dB	50 dB

läheisyydessä sekä hoito- ja oppilaitoksia
palvelevat alueet

Uudet asumiseen käytettävät alueet,
virkistysalueet taajamissa ja hoitolaitoksia
palvelevat alueet 55dB 45 dB

Loma-asumiseen käytettävät alueet,
virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja
luonnonsuojelualueet 45 dB 40 dB

Ohjearvot sisällä	$L_{Aeq, 7-22}$	$L_{Aeq, 22-7}$
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoontumistilat	35 dB	–
Liike- ja toimistohuoneistot	45 dB	–

Taulukko 2. Melun ohjearvot valtioneuvoston päätöksen 993/1992 mukaisesti.

Jos melu on iskumaista (esim. vaihekolina) tai kapeakaistaista (esim. kaarrekirskunta), niin melulähteeseen lisätään +5 dB häiritsevyyskorjaus.

Ohjearvojen määritelmä tarkoittaa melun ekvivalenttitasoa eli keskiäänitasoa koko ohjearvon aikavälillä. Siten lyhytaikaiset ohjearvon desibelirajan ylitykset eivät välttämättä aiheuta päätöksessä tarkoitetun ohjearvon ylitystä, mikäli aikaväli sisältää hiljaisempia jaksoja. Mikäli mallinnettava melu on impulssimaista (vaihteet) tai kapeakaistaista (kaarrekirskunta), niin lähtöarvoon lisätään 5 dB häiritsevyyskorjaus. Raitoliikenteen aiheuttaman sisämelun enimmäistason suositusarvona sovelletaan enimmäisäänitasoa $L_{Amax} \leq 45$ dB (Ympäristöopas: 108, Ympäristöministeriö 2003). Tavoitteena on, että L_{Amax} 45 dB ei ylitä yöaikaan lepoon ja nukkumiseen käytettävissä tiloissa.

Lisäksi rakennusten ääniympäristöä käsitellään ympäristöministeriön asetuksessa (796/2017) *asetus rakennusten ääniympäristöstä* ja sitä muokkaavassa asetuksessa *ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä annetun ympäristöministeriön asetuksen 5 ja 6 §:n muuttamisesta* 360/2019.

Asetuksissa käsitellään tarkemmin suunniteltavien uusien rakennusten meluntorjunnallisia suunnitteluperusteita eikä niitä tarvitse suoraan huomioida raitiotiehankkeissa. Mahdollisissa yhteisesti toteutettavissa meluntorjuntatoimenpiteissä ne muodostavat yhden suunnitteluperusteen.

Melun arviointimenetelmät

Lähtökohtaisesti suunnitellun raitioliikenteen tuomat melupäästöt ovat useimmissa tapauksissa vähäisiä jo olemassa olevan liikenteen tuottamiin melutasoihin verrattuna. Raitioliikenteen enimmäisäänitasot voivat kuitenkin olla paikoin merkittävät. Raitiotien vaikutus ympäristön nykyiseen äänimaisemaan tutkitaan mallintamalla. Raitioliikenteen melun mallinnuksessa ja raportoinnissa noudatetaan lähtökohtaisesti Helsingin kaupungin liikennemeluselvitys ohjetta (*Liikennemeluselvityksen laatiminen maankäytön suunnitteluun. Helsingin kaupunki, Maankäytön yleissuunnittelun ohje 9.9.2019.*). Mikäli on tiedossa uusia Helsingin ohjetta tarkempia lähtöarvoja (Artix XL a- ja b- kertoimet avoradalla, syväuraisen vaihteen mitattu lähtöarvo jne.), niin melumallinnuksessa käytetään kyseisiä tietoja.

Liikennemäärinä käytetään nyky- ja ennustetilanteen mukaisia liikennetietoja. Vastaan voi tulla tilanne, jossa melun ohjearvot ylittyvät jo nykyisillä liikennemäärillä, jolloin raitiotien osuus melutilanteen parantamisesta on määriteltävä tapauskohtaisesti yhteistyössä kaikkien sidosryhmien kesken.

Meluntorjunta

Raitiotien osalta meluntorjunnassa ja suunnittelussa toimivat samat periaatteet kuin yleisen liikennemelun osalta. Tehokkain keino on ehkäistä melun syntymistä. Toissijaisesti melun leviämistä melulle herkkiin ympäristöihin ja sisätiloihin tulee rajoittaa raitiotien ympäristön maankäytön massoittelua ja ilmaääneneristävyysvaatimuksia koskevilla määräyksillä.

Suurin osa raitiotien ilmaäänestä syntyy kisko–pyöräkontaktin tuotteena. Kokonaisvoimakkuuteen vaikuttavat vielä lisäksi esim. raitiovaunun voimantuottoyksikön, jarrujen ja ilmastointilaitteiden

säteilemä ilmaääni ja muut mahdolliset oheislaitteet. Raitiovaunun alhaisen nopeuden takia aerodynaaminen melu ei ole merkittävää.

Kisko–pyöräkontaktin aiheuttama melu voidaan jakaa pääpiirteissään viiteen päälajiin: pyörän sekä kiskon elastiseen värähtelyyn, kiskon ja pyörän epätasaisuudesta johtuvaan meluun, epäjatkuvuuskohdissa syntyviin iskuihin sekä kaarrekirskuntaan.

1.1.2.1 Pyörämelu

Raitiovaunun pyörää voidaan tarkastella hyvin litteänä kellona. Kisko toimii kellon kielen tavoin herätteen antajana, mutta kisko–pyöräkontaktivoima myös vaimentaa pyörän sointia.

Melun syntymiseen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- herätteen aiheuttajat
 - kiskon ja pyörän epätasaisuudet
 - pyörien kartiokkuus
 - kaarteiden säde
- pyörän ominaistaajuuteen vaikuttavat elastiset ominaisuudet
 - pyörän kuluneisuus
 - joustokumipyörissä kehän ja jousikumin jäykkyys
- kisko–pyörä-kontaktivoima

Pyörän pyörimisnopeus vaikuttaa Doppler-ilmiön tavoin värähtelyn taajuuteen värähtelyiden edetessä eri suuntaan pyörän kehän ympäri. Pyörimisnopeuden kasvaessa pyörän pyörimissuuntaa vastaan etenevän aallonpituus kasvaa (äänen taajuus kasvaa) ja vastaavasti pyörimissuuntaan etenevien värähtelyiden aallonpituus laskee (äänen taajuus madaltuu).

Pyörän värähtelyyn vaikuttavien tekijöiden suuren lukumäärän vuoksi kunkin pyörätyypin värähtelytilan aiheuttavat olosuhdeyhdistelmät selviävät helpoiten kokeellisesti tai tarkkailemalla.

Kiskomelu

Raitiotiekiskoa voidaan mallintaa äärettömän pitkänä värähtelevänä palkkina, joka on kimmoisalla kiinnityksellä kiinni pölkyssä tai puolipölkyssä. Sepeliraiteessa tukikerros on joustava, kiintoraiteessa rataaatta taas lepää joustavan alusrakenteen päällä. Pyörän aiheuttama heräte saa kiskon värähtelemään soittimen kielen tavoin.

Korkeilla taajuuksilla kisko värähtelee kiinnitysten päällä, muusta päällysrakenteesta riippumatta. Matalammilla taajuuksialueilla muun päällysrakenteen rooli äänilähteenä kasvaa.

Kiskon ja päällysrakenteen värähtelyyn vaikuttavat:

- kiskoprofiili (jäykempi kisko värähtelee vähemmän)
- kiskonkiinnitysten kiertojäykkyys
- kiskonaluslevyn jäykkyys
- pölkköväli
- päällysrakenteen massa ja jäykkyys
- alustan jäykkyys

Suljettu päällysrakenne vähentää kiskoista ja päällysrakenteesta leviävää melua avoimeen rakenteeseen verrattuna. Vaimentava vaikutus pienenee melun taajuuden madaltuessa.

Kiskon ja pyörän epätasaisuudesta johtuva melu aiheutuu pyörän pystysuuntaisesta värähtelystä sen liikkuessa kiskon ja pyörän pinnan pienten epätasaisuuksien yli. Syntyvän melun taajuus f riippuu nopeudesta v ja epätasaisuuksien aallonpituudesta λ .

$$f = v/\lambda$$

Kaava 1. Melun taajuuden määrittäminen.

Usein toistuva jarruhiekan ja kiskojarun käyttö, nastarengasliikenne kiskon yli voivat aiheuttaa paikallisia epätasaisuuskohtia. Suunnittelussa tulee erityisesti pyrkiä ehkäisemään kaarteissa pyörän luistamisen tuloksena syntyvien aaltomaisten kulumien (*riffelien*) syntymistä.

Kiinteäakselisessa kalustossa pyörien kulmanopeus ω on aina sama, jolloin vierintänopeus v riippuu kehän säteestä r .

$$v = \omega r$$

Kaava 2. Vierintänopeuden määrittäminen.

Ihannetilanteessa pyörän kartiokkuus saa pyörän asettumaan kaarteessa suhteessa kiskoihin niin, että kehien säde sisä- ja ulkokaarteessa (r_s ja r_u) vastaavat pyörien etenemisnopeutta.

$$\omega \left(\frac{r_s}{r_u} \right) = \frac{v_s}{v_u}$$

Kaava 3.

Pienisäteisissä kaarteissa tämä ei aina toteudu, jolloin kaarteeseen jompaankumpaan kiskoon syntyy aaltomaisia kulumia. Aaltojen muodostumista voidaan torjua käyttämällä kovempaa kiskolaatua.

Kiskon ja pyörän epätasaisuudesta johtuvaa melua voidaan torjua kiskonhionnalla ja pyörän sorvaamisella.

Epäjatkuvuuskohdissa syntyvät iskut

Epäjatkuvuuskohtien synnyttämät iskut aiheuttava äkillisiä kolahduksia. Niitä syntyy mm. raitiovaunun ylittäessä vaihteen ylimenoalueen, pyörän laipan kohdatessa matalauraisen vaihteen tai raideristeyksen uran pohjan tai pyörän ylittäessä koholla tai kuopalla olevan hitsisauman.

Epäjatkuvuuskohtien aiheuttamaa melua voidaan vähentää välttämällä matalauraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttämistä, kun tämä on risteyssuhteen puolesta mahdollista, sekä huomioimalla melulle herkkien kohteet vaihteiden sijainnin suunnittelussa.

Laippakirskunta

Laippakirskunta on korkeataajuuksista melua, joka syntyy raitiovaunun pyörän laipan hankautumisesta kiskoon. Laippakirskuntaa esiintyy

erityisesti kiinteillä teleillä varustetun kaluston ajaessa pienisäteisiin (R<50 m) kaarteisiin. Laippakirskuntaa voi vähentää laipan voitelulla.

Tärinä

Tärinän osalta Suomessa ei ole virallisia raja-arvoja liikenteen aiheuttamalla tärinälle, joka kohdistuu ihmisiin rakennuksissa tai rakennuksiin. Ympäristönsuojelulaki (527/2014) sekä maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) ja ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista (465/2014) edellyttävät kuitenkin liikennetärinästä aiheutuvat ympäristöhaitat otettavaksi huomioon. Liikennetärinä ei saa aiheuttaa vaurioita rakennukselle eikä kohtuutonta haittaa rakennuksessa oleville ihmisille.

Koska varsinaisia ohjearvoja ei ole tärinän osalta käytettävissä suunnitteluperusteiksi on vallitsevaksi käytännöksi asumismukavuutta arvioidessa tullut hyödyntää VTT:n värähtelyluokitusta perustuen tunnuslukuun $V_{w,95}$. Kyseessä on tilastollinen arvo, joka voidaan määrittää joko mittaamalla tai arvioida laskennallisen menetelmin. Uusien alueiden ja väylien suunnittelussa VTT suosittaa tavoitearvoksi vähintään tasoa C. Rakenteiden kestävyys ei ole tyypillisellä raitiotieliikenteellä määräävä tekijä.

Värähtelyluokka	Olosuhteet	Värähtelyn tunnusluku $V_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyä.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät asuinolosuhteet <i>Ihmiset voivat havaita värähtelyt, mutta ne eivät ole häiritseviä.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien asuinrakennuksien ja väylien suunnittelussa <i>Keskimäärin 15% asukkaista pitää</i>	$\leq 0,30$

värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöstä.

Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla

D Keskimäärin 25% asukkaista pitää $\leq 0,60$
värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöstä.

Taulukko 3. Värähtelyluokitukset VTT:n ohjeen "Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa" mukaisesti

Runkomelu

Runkomelu ei ilmiönä juurikaan poikkea muista värähtelypohjaisista ilmiöistä. Kun rakennukseen saapuvan värähtelyn taajuus maaperän ominaisuuksien muuttuessa nousee tarpeeksi korkeaksi, kykenee ihminen havaitsemaan rakennusosien värähtelyn niistä säteilevänä ilmapölyä, vaikka värähtelyä ei muuten pystyisi huomaamaan tai tuntemaan. Runkomelun taajuustasona pidetään yleisesti aluetta 16-250Hz. Runkomelua voi esiintyä myös yli 250Hz taajuuksilla radan ollessa suorassa yhteydessä taloihin joko suoraan tai esimerkiksi kallion tai kovan kitkamaan kautta.

Mahdollisen runkomeluongelman tarkastelussa ja torjunnan suunnittelussa lähtökohtana pitää olla sekä värähtelyn voimakkuuden, että likimääräisen taajuustason tunteminen, jolloin ongelman suuruus ja mahdollinen vaimennus tietyille taajuustasoille voidaan suunnitella tarvittavalla tarkkuudella.

Kuten muissakaan värähtelytyypeissä ei Suomessa myöskään runkomelulle ole olemassa varsinaisia velvoittavia numeerisia raja-arvoja. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017) toteaa uusien rakennuksien runkomelun osalta seuraavasti:
"Rakennuksen, jossa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita, runkoääni- ja värinäeristys sekä opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- ja toimistotilojen melun- ja värinäntorjunta on suunniteltava ja toteutettava tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen siten, että niissä saavutetaan toimintaa vastaava riittävän hyvä ääniympäristö."

Suunnittelun ja arvioinnin tueksi yleiseksi käytännöksi on muodostunut käyttää VTT:n tiedotteen ”Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, 2009” suosittelimia ohjearvoja. Huomioitavaa on, että päinvastoin kuin yleisesti muissa melun ohjearvoissa käytössä ei ole tietyn aikavälin keskiäänitaso vaan A-painotettu enimmäisäänitaso [dB]. Tämä tarkoittaa, että ohjearvon ylityksiä voi muodostua myös yksittäisten voimakkaammin värähtelyä aiheuttavien liikennöintivälineiden vaikutuksesta eikä sitä voida kompensoida hiljaisempien aikojen avulla.

Rakennustyytit	Runkomelutaso L_{prm} [dB]
Radio, tv- ja äänistysstudiot	25-30
Asuinhuoneistot	30/35 ²
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat	
– potilashuoneet, majoitustilat	30/35 ²
– päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitettut huoneet	
Kokoontumis- ja opetustilat	
– luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman	35
äänentoistolaitteiden käyttöä	
– muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot	
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45 ²

² Avoradat. Mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmanääneneristävyydestä on suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.

Taulukko 4. Runkomelun ohjearvot VTT:n mukaan [dB]

Avoradoille VTT ehdottaa hieman lievempiä raja-arvoja. Perusteluina esitetään yleensä, että avorataliikenteestä syntyy myös ilmaääntä, joten runkoäänien osuutta ei koeta niin häiritseväksi. Yleisesti ottaen

runkomelun ohjearvot ovat samaa suuruusluokkaa ilmaäänen vaatimusten (vNp 993/1992) kanssa.

Laskennallinen arviointi ja torjuntamahdollisuudet

Raitotiellä kulkevan liikennevälineen, raitiotien ja raitiotien alla olevan maaperän keskinäisestä vuorovaikutuksesta maaperä joutuu värähtelytilaan, joka edetessään siirtyy rakennuksen perustuksiin ja etenee sitä kautta runkojen pysty- ja vaakapintoihin. Etenemisketju on monimutkainen ja siksi arvioitavien laskentaparametrien määrä kasvaa suureksi.

Suomessa värinöiden ja runkomelun suuruutta on yleisesti arvioitu VTT:n tuottamien tutkimusten ja selvitysten mukaisesti. Tuotetussa kirjallisuudessa esitellään eri tarkkuustasojen laskennallisia menetelmiä, mittausohjeita ja ohjeellisia raja-arvoja niin värinän kuin runkomelun osalle. Koska värinän arvioiminen on useista parametrijärjestelmästä riippuvaista ja maaperän ominaisuuksien arviointi on haastavaa, perustuu arviointi usein kokemuseräiseen tietoon.

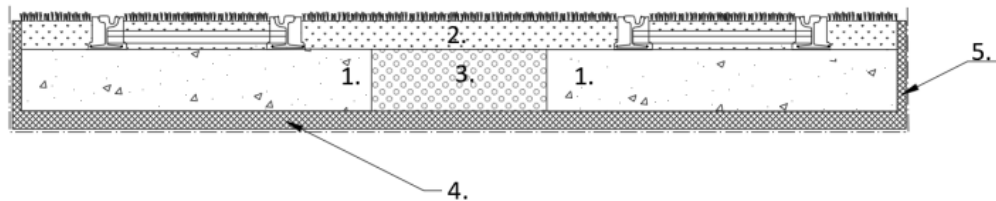
Värinän vaimentamisen periaate on sama kaikille värähtelytyypeille. Ilmiö on voimakkaasti taajuusriippuvainen ja epäonnistuneella suunnittelulla värähtely voi tietyissä tapauksissa jopa voimistua. Vaimennus voidaan suorittaa joko raitiotien ratarakenteessa tai sen välittömässä yhteydessä, maaperässä radan ja rakennusten välillä, tai eristämällä jokainen värähtelylle altistuva rakennus irti maaperästä.

Maa- ja kallioperässä etenemisen lisäksi värähtely etenee myös maan pinnassa pinta-aaltona. Pinta-aallon voimakkuuden määrittely ja sen hallinta on toteutettava tapauskohtaisesti ja valittu menetelmä voi vaihtua eri tyyppirakenteilla. Pinta-aallon etenemisen täydellinen katkaisu vaatii eristysmateriaalin tuomisen katurakenteen pintaan asti, jolloin sen täsmällinen sijainti on yhteensovitettava katusuunnittelun kanssa.

Kustannustehokkain ratkaisu on vaimentaa värähtely joko radassa tai radan välittömässä läheisyydessä. Tällöin ongelma on ratkaistu jokaisen olemassa olevan ja tulevan rakennuksen kohdalla samalla kertaa.

Värähtelyn huomioiminen myös tulevassa maankäytössä on olennainen osa hankkeen kokonaistaloudellisuutta.

1. Kiintolaatta
2. Nurmi+kasvialusta
3. Murske
4. Mahdollinen runkomelueriste, 100mm tilavaraus
5. Mahdolliset runkomelueristeen pystykaistat, 50mm tilavaraus



Kuva 2. Eristyksen ohjeellinen sijainti kiintolaattaradalla

Nykyaikaisten raitiotieiden kohdalla värähtelyjen aiheuttamat ongelmat rajoittuvat usein runkomeluun, mutta myös asumismukavuus ja rakenteiden vaurioitumisalttius on hyvä todentaa tarvittavalla tarkkuustasolla.



Pääkaupunkiseudun raitiotien suunnitteluohje

Raitiotiejärjestelmän suunnitteluperiaatteet



Raitiotien suunnittelu



Rata ja rakenteet



Ratasähkö ja tekniset järjestelmät



Elinkaari ja ympäristövaikutukset



Melu, värinä ja runkomelu

Ylläpito ja kunnossapito



Tulevaisuus rakennetaan raiteilla

Kaupunkiraideverkosto kasvaa ja kehittyy pääkaupunkiseudulla. Meillä on kaupungin raideliikenneverkoston kehittämiseksi käynnissä useita mielenkiintoisia suurhankkeita ja kunnianhimoisia tavoitteita. Me työskentelemme ohjaamoissa, varikoilla, raiteilla ja suunnittelupöydissä, ja haluamme toimia hiilineutraalin infran ja liikennepalvelujen suunnannäyttäjänä nyt ja tulevaisuudessa.

Kaupunkiliikenne Oy lukuina

147 milj.

matkaa Kaupunkiliikenteen kyydissä / vuosi

173 km

raitiotietä

46 km

metrorataa kahteen suuntaan

1571

työntekijää

460

pyöräasemaa

4600

kaupunkipyörää

Seuraa @ Kaupunkiliikenne



© Pääkaupunkiseudun Kaupunkiliikenne Oy, 2026

Tietosuoja | **Saavutettavuusseloste** | **Evästekäytäntö**

Takaisin ylös ↑