



**Liite 6:
Tärinä- ja runkomeluselvitys**

**Bilaga:
Vibrations- och stombuller-
utredning**

**ITÄ
RATA**

Itärata

Ympäristövaikutusten arvioinnin ja alustavan
yleissuunnitelman tärinä- ja runkomeluselvitys

16-1085.1B

15.10.2025

16-1085.1	3.4.2025	Alkuperäinen dokumentti
16-1085.1A	2.10.2025	Revisio A: päivitetty linjaukset ja linjausten nimeäminen
16-1085.1B	15.10.2025	Revisio B: korjattu taulukoiden 7.4 ja 7.8 lukuarvoja

Tiivistelmä

Itärata on uusi suunnitteilla oleva junaliikenteen rata, joka kulkee pääkaupunkiseudulta Porvoon kautta Kouvolaan. Itäradan nykyisiä raideyhteyksiä suuremmat ja nopeammat raideyhteydet Kouvolaan mahdollistavat nopeamman raideyhteyden Joensuun ja Kuopion kautta koko Itä-Suomeen.

Tässä selvityksessä arvioidaan Itärata-hankkeen raideliikenteen aiheuttamia tärinä- ja runkomelutasoja alustavan yleissuunnitelman mukaisilla linjausvaihtoehdoilla. Selvitys perustuu tärinän ja runkomelun mallinnukseen Vibmapper®-ohjelmistolla, jossa otetaan huomioon radan, maaperän ja rakennusten vaikutus värähtelyyn tärinän ja runkomelun arvioinnissa. Lähtötietoina ohjelmistossa on hankkeen suunnitelma-aineisto ja avoimista rajapinnoista saatavilla olevat maaperän ja rakennusten tiedot. Laskennallinen arvio tärinästä ja runkomelusta noudattaa VTT:n semi-empiirisiä laskentamalleja (Törnqvist ja Talja 2008; Talja & Saarinen 2009), joita on tarkennettu aiemmin tehdyillä mitauksilla.

Tärinä- ja runkomeluarvot laskettiin radan vaikutusalueella oleville rakennuksille kullakin linjausvaihtoehdolla matkustaja ja tavarajunille. Selvityksessä määritettiin tarvittavat tärinän ja runkomelun vaimennustarpeet, joilla rata voitaisiin toteuttaa niin, että tärinän ja runkomelun ohjearvojen arvioidaan täyttyvän ratalinjausten vaikutusalueella olevissa rakennuksissa. Rakennusten ohjearvoina käytettiin tässä selvityksessä standardin SFS 5907:2022 *Rakennusten akustinen suunnittelu ja luokitus* ohjearvoja, *Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20 Ympäristö ja rautatiealueet* sekä VTT:n suositusarvoja (Talja & Saarinen 2009).

Tärinän ja runkomelun vaimennusratkaisuksi määritettiin tekniset ratkaisut, joilla vaimennustarpeet arvioidaan saavutettavan. Teknisille ratkaisuille arvioitiin yksikkökustannukset, joiden perusteella laskettiin tärinän ja runkomelun vaimennusratkaisujen toteuttamisen kustannusarviot. Määritetyillä tärinän ja runkomelun vaimennusratkaisulla tärinän ja runkomelun ohjearvojen arvioidaan ylittyvän ainoastaan avorataosuuksilla tilanteissa, joissa rakennukset sijaitsevat hyvin lähellä ratalinjausta eikä teknistaloudellisesti toteutuskelpoisia vaimennusratkaisuja ole käytettävissä. Näiden rakennusten osalta lunastus voi olla teknistaloudellisesti ainoa vaihtoehto ja todennäköisesti kyseisiä

rakennuksia tultaisiin lunastamaan ratalinjauksen rata-alueen ja radan suoja-alueen sisäpuolelta joka tapauksessa.

Suurin riski hankkeelle tärinän ja runkomelun näkökulmasta on runkomelun vaimennusratkaisuilla saavutettavat vaimennustasot tunneliosuuksilla tiheästi asutuilla alueilla. Jatkosuunnittelussa valittujen linjausvaihtoehtojen mallinnusten lähtötietoja tulee tarkentaa muun muassa maa- ja kallioperän ominaisuuksien, maakerrosten paksuuksien ja rakennusten perustamistapojen osalta.

Itärata

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	6
1.1	Tilaaja	6
1.2	Tekijä	6
1.3	Selvityksen tarkoitus	6
2	Tärinän ja runkomelun leviäminen maa- ja kallioperässä.....	8
3	Tärinää ja runkomelua koskevat ohjeavot	9
4	Lähtötiedot.....	10
4.1	Karttatiedot ja rakennukset	10
4.2	Ratageometria.....	11
4.3	Ratarakenne ja perustamistavat.....	13
4.4	Liikennetiedot ja junakalusto	13
4.4.1	ICE3 -suurnopeusjunat.....	15
4.4.2	Sm5-lähijunat.....	16
4.4.3	Tavarajunat.....	16
4.5	Maaperä ja rakennusten perustamistapa	16
4.6	Suunniteltu maankäyttö.....	17
5	Arviointimenetelmät.....	17
5.1	Tärinän laskentamalli	17
5.2	Runkomelun laskentamalli	20
5.3	Epävarmuudet.....	21
6	Tärinän ja runkomelun vaimennusratkaisut	22
6.1	Tärinän vaimennusratkaisut	22
6.1.1	Paalulaatta.....	23
6.1.2	Stabilointirakenne radan vieressä.....	23
6.1.3	Pohjainpölkkyt	23
6.2	Runkomelun vaimennusratkaisut ratarakenteessa.....	23
6.2.1	Sepeliradat	27

6.2.1.1	Sepelinalusmatto	27
6.2.1.2	Pohjainpölkky	28
6.2.1.3	Radan tukikerroksen paksuus	28
6.2.1.4	Joustavat kiskonaluslevyt ja kiinnitys	29
6.2.2	Kiintoraiderata	29
6.2.2.1	Kellutettu kiintoraidelaaatta	29
6.2.2.2	Joustavat pölkynaluslevyt	29
6.2.2.3	Joustava välilevy tai joustava kiinnitys	29
6.3	Tärinän vaimennusratkaisujen kustannusarviot	30
6.4	Runkomelun vaimennusratkaisujen kustannusarviot	30
7	Tulokset.....	31
7.1	Matkustajaliikenne.....	33
7.1.1	Tärinä	33
7.1.2	Runkomelu	35
7.2	Tavarajunaliikenne	37
7.2.1	Tärinä	37
7.2.2	Runkomelu	39
7.3	Tärinän vaimennustarve.....	40
7.4	Runkomelun vaimennustarve.....	43
8	Loppupäätelmä ja jatkosuunnittelu	46
	LIITTEET	48
	LÄHTEET	49

1 Johdanto

1.1 Tilaaja

Itärata Oy
Erottajankatu 15–17
00130 Helsinki

Minna Weurlander
minna.weurlander@itarata.fi

1.2 Tekijä

A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Bertel Jungin aukio 9, 02600 Espoo
puh. 0207 911 888

TkT Juho Liski
juho.liski@ains.fi

TkT Sakari Tervo
sakari.tervo@ains.fi

Dipl.ins. Benjamin Oksanen
benjamin.oksanen@ains.fi

Dipl.ins. Timo Huhtala
timo.huhtala@ains.fi

1.3 Selvityksen tarkoitus

Itärata on uusi suunnitteilla oleva junaliikenteen rata, joka kulkee pääkaupunkiseudulta Porvoon kautta Kouvolaan. Itäradan nykyisiä raideyhteyksiä suuremmat ja nopeammat raideyhteydet Kouvolaan mahdollistavat nopeamman raideyhteyden Joensuun ja Kuopioon kautta koko Itä-Suomeen.

Tässä selvityksessä arvioidaan raideliikenteen tuottamia tärinä- ja runkomelutasoja Itäradan alustavan yleissuunnitelman suunnitteluvaiheessa. Selvityksen tuloksia hyödynnetään kustannusarvioissa ja hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa. Arviointiin ei ole sisällytetty olemassa olevia rataosuuksia Keravalla, Kouvolassa tai muualla hankealueella.

Selvitys perustuu laskennallisiin tärinän ja runkomelun arviointimalleihin. Tärinää on arvioitu rakennusten rakennusrunkoon ilman resonanssivaikutuksia ja runkomelua rakennusten alimpaan kerrokseen. Tärinä on arvioitu junan tyypin, painon ja nopeuden yhteisvaikutuksesta, ja laskennallinen tulos vastaa tärinän tunnuslukua $v_{w,95}$. Runkomelu on arvioitu junan tyypin ja nopeuden yhteisvaikutuksesta, josta on laskettu runkomelutasojen 95. persentiili. Tällöin laskennallinen tulos vastaa runkomelun tilastollista tunnuslukua L_{prm} .

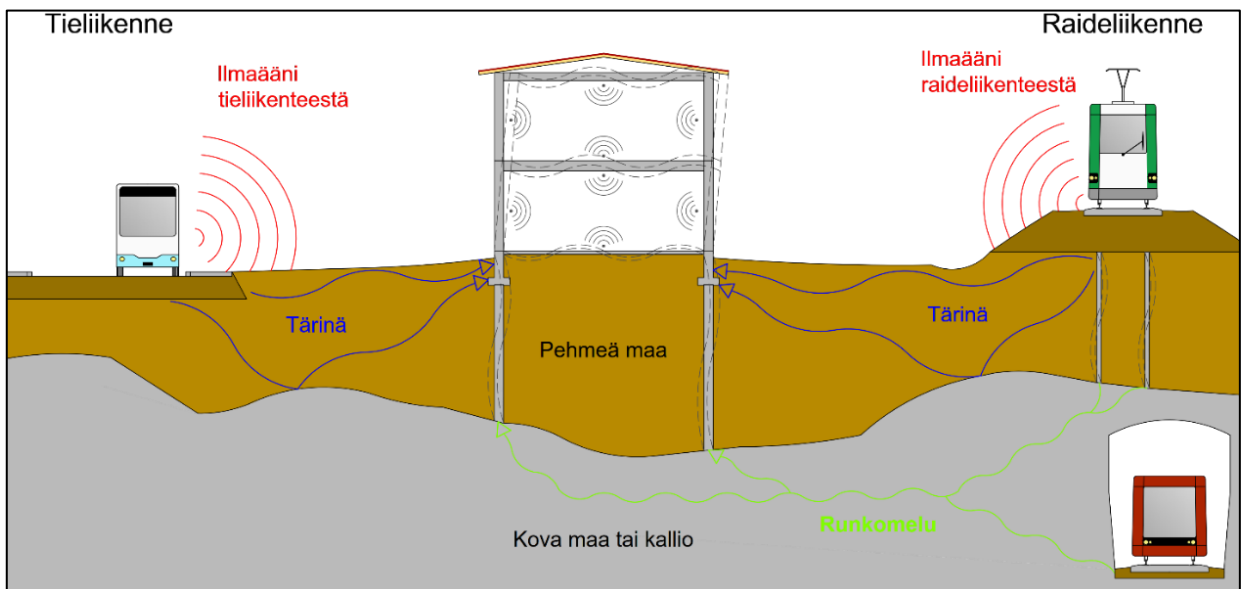
Runkomelun ja tärinän osalta on koko alueella laskettu tärinä- ja runkomelukartat, joista selviää kunkin kiinteistön arvioitu tärinä- ja runkomelutaso eri linjausvaihtoehdoilla. Tulostensa perusteella on laskettu altistuvien kiinteistöjen ja asukkaiden määrät sekä myös tarvittavat tärinän ja runkomelun vaimennustarpeet.

2 Tärinän ja runkomelun leviäminen maa- ja kallioperässä

Raideliikenteen maaperään aiheuttama värähtely ilmenee pehmeiden maalajien alueilla rakenteiden liikkeenä, jonka ihminen aistii tuntoaistinsa välityksellä tärinänä (kuva 2.1). Tärinän kannalta ongelmallisimpia ovat yleensä raskaimmat tavarajunat. Kovilla maaloilla maaperän värähtelysisältö on suurempitaajuisista ja amplitudiltaan pienempää, jolloin tärinä ei yleensä ylitä ihmisen havaintokynnystä.

Rakenteiden värähtely saattaa ilmetä rakennuksissa runkoäänenä silloin, kun maalaji on kovaa. Runkoäänä ihminen aistii kuuloaistinsa välityksellä pienitaajuisena meluna. Runkomelu leviää tehokkaimmin ratarakenteesta ympäristöön kalliota pitkin. Mikäli ratarakenne sekä rakennukset on paalutuksin tuettu kallioperään, runkomelua voi ilmetä myös pehmeiden maalajien alueilla. Hyvin lyhyillä etäisyyksillä sekä tärinä että runkomelu voivat olla häiritseviä.

Maaperän lisäksi tärinä- ja runkomelutasoihin voivat paikallisesti vaikuttaa huomattavasti ratarakenteen mahdolliset kaarteet, kallistukset sekä epäjatkuvuuskohdat kuten esimerkiksi vaihteet tai tukirakenteen muutokset siltojen ja alikäytävien yhteydessä.



Kuva 2.1. Periaatekuva raideliikenteen aiheuttaman tärinän ja runkomelun etenemisestä eri maalajeissa.

3 Tärinää ja runkomelua koskevat ohjearvot

Väyläviraston dokumentin Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20 Ympäristö ja rautatiealueet (Väylävirasto, 2021) mukaan sovellettava tärinän ohjearvo on asuntojen ja lomarakennusten osalta luokka C eli tärinäarvo $v_{w,95}$ enintään 0,3 mm/s, jos kyseessä on uusi rata, ja luokka D eli tärinäarvo $v_{w,95}$ enintään 0,6 mm/s vanhoille radoille. Lisäksi liike- ja julkisille rakennuksille voidaan soveltaa tärinän ohjearvona luokkaa D. Runkomelun osalta ohjearvo asuinrakennuksille on 35 dB avoradoilla ja 30 dB tunneleilla.

Tärinän ja runkomelun osalta sovellettavina ohjearvoina yleisesti voidaan käyttää standardissa SFS 5907:2022 *Rakennusten akustinen suunnittelu ja luokitus* (SFS, 2022) esitettyjä ohjearvoja akustiselle luokalle A2. Akustinen luokka A2 vastaa uudisrakennuksille asetettuja vaatimuksia. Runkomelun osalta ohjearvot on esitetty tietyille tilatyypeille sekä tunneliliikenteen että avoradan osalta, joista tunnelin osalta ohjearvo on 5 dB pienempi. Standardissa esitettyjen ohjearvojen lisäksi liiketiloille voidaan soveltaa ohjearvona L_{prm} 45 dB avoradan osalta (Talja & Saarinen, 2009). Runkomelun ja tärinän ohjearvot eri rakennustyypeille on esitetty taulukossa 3.1.

Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$ on määritelty tilastollisesti siten, että yksittäisen ohi ajavan junan aiheuttama värähtely alittaa tunnusluvun 95 % todennäköisyydellä. Runkomelun tunnusluku L_{prm} on määritelty tilastollisesti siten, että 95 % mittaustuloksista alittaa kyseisen arvon.

Taulukko 3.1. Runkomelun ja tärinän ohjearvot eri rakennustyypeille.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm}	Tärinäarvo $v_{w,95}$
	[dB]	[mm/s]
Asuinhuoneistot	30 / 35*	0,30
Hotellit	35	0,30
Palvelutalot	30 / 35*	0,30
Toimistot	35 / 40*	0,60
Liiketilat	45	-
Oppilaitokset	35 / 40*	0,60
Päiväkodit, opetus- ja lepotilat	35	0,30
Päiväkodit, ympärivuorokautiset tilat	30	0,30
Liikuntatilat	-	-

Terveysthuollon rakennukset: hoitotilat	35 / 40*	0,30
Terveysthuollon rakennukset: potilashuoneet ym. herkätilat	30 / 35*	
Leikkaussalit, hammashoidon vastaanottotilat, lääketieteelliset kuvantamistilat	-	0,10
<i>*avoradat, tunnelin osalta pienempi esitettyistä arvoista</i>		

Itärata on kokonaisuudessaan uusi rata, jolloin RATO 20 mukaisesti tärinän ohjearvo asumiskäyttöön tarkoitetuissa rakennuksissa on luokka C eli $v_{w,95}$ enintään 0,3 mm/s, joka vastaa taulukossa 3.1 esitettyjä SFS-5907-standardin mukaisia ohjearvoja. Runkomelun osalta ohjearvot valitaan taulukon 3.1 mukaisesti rakennustyyppin perusteella.

4 Lähtötiedot

4.1 Karttatiedot ja rakennukset

Selvitys perustuu Maanmittauslaitokselta saatuun avoimeen pohjakartta-aineistoon, joka sisältää alueen korkeustiedot ja liikenneväylien sijainnit. Selvityksessä on käytetty seuraavia Maanmittauslaitoksen [CC BY 4.0](#) -lisenssin alaisia aineistoja:

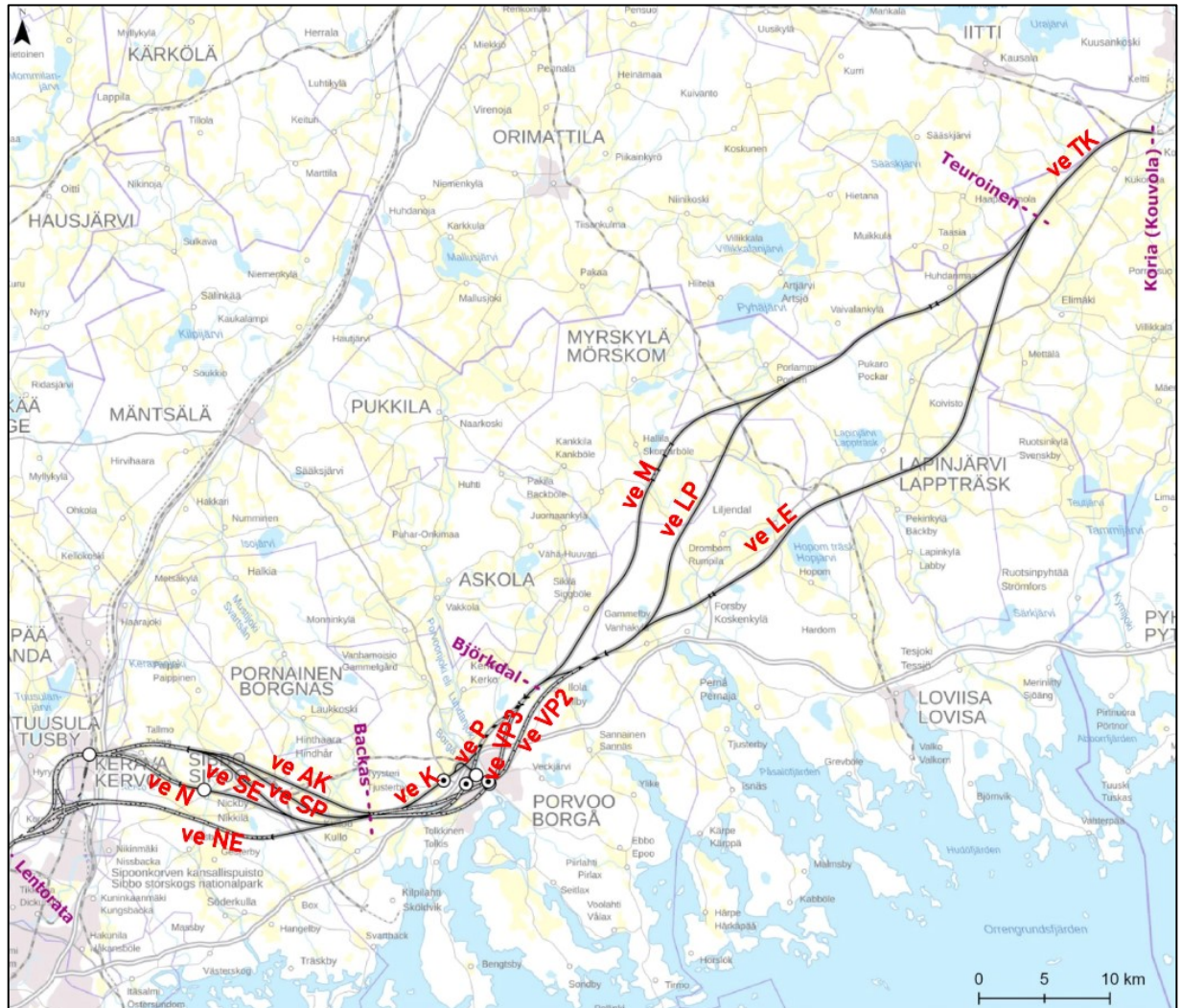
- Maastotietokanta (sisältäen vesistöt), haettu 15.11.2024
- Karttanimet, haettu 11.2.2025

Suunnittelualueelta on lisäksi saatu lähtötiedoiksi kuntien toimittamat rakennus- ja huoneistorekisterin (RHR) mukaiset asukasmäärät sekä rakennusten käyttötarkoitustiedot. Revision osalta RHR-aineisto puuttui Tuusulan alueelta. Niille rakennuksille, joista RHR-aineistossa ei ollut tietoja, on käytetty maastotietokannan mukaisia rakennusten käyttötarkoituksia. Sama tehtiin myös rakennuksille, joiden alueelta ei saatu RHR-aineistoa.

Asukasmäärät niille asuinrakennuksille, joista ei ollut RHR-tietoja, arvioitiin kyseisten rakennusten lähialueen asukasmäärien mediaanina. Jos lähistöllä ei ollut yhtään asukasmäärää tiedossa, rakennuksen asukasmääräksi arvioitiin kaksi. Asukasmäärän arviointi tehtiin 506 rakennukselle koko suunnittelualueella.

4.2 Ratageometria

Selvitys perustuu Itäradan alustavan yleissuunnitelman suunnitelma-aineistoon. Selvityksessä on tarkasteltu AYS mukaisia linjausvaihtoehtoja, joiden nimet ja selitteet on esitetty taulukossa 4.1. Linjausvaihtoehdot on lisäksi esitetty kartalla kuvassa 4.1.



Kuva 4.1. Linjausvaihtoehdot kartalla.

Taulukko 4.1. Alustavan yleissuunnitelman ratalinjausvaihtoehdot.

Ratalinjaus	Selite
AK	Anttilan kylän vaihtoehto
SE	Sähköasema eteläinen
SP	Sähköasema pohjoinen
N	Nikkilän vaihtoehto
NE	Nikkilän eteläinen vaihtoehto

K	Kuninkaanportin linjaus
K+	Porvoon vanhan aseman lähiliikenne
P	Puistokadun linjaus
VP2	Vanhan Porvoon linjaus 2
VP3	Vanhan Porvoon linjaus 3
LE	Lapinjärvi eteläinen
LP	Lapinjärvi pohjoinen
M	Myrskylän vaihtoehto
TK	Teuroinen-Koria

Ympäristövaikutusten arvioinnissa eri linjausvaihtoehtoja tarkastellaan taulukon 4.2 mukaisten solmupisteiden väliin jäävissä viidessä eri osassa.

Taulukko 4.2. Ympäristövaikutusten arvioinnin solmupisteet ja ratakilometrit.

Solmupiste	Ratakilometri
Lentorata	km -8+000
Backas	km 26+500
Björkdal	km 43+000
Teuroinen	km 99+000
Koria (Kouvola)	km 110+400

Tämän selvityksen tulokset on esitetty edellä esitettyjä ympäristövaikutusten arvioinnin solmupisteitä pienemmissä rataosissa teknisen suunnittelun tarvetta ajatellen, jolloin täärinän ja runkomelun vaimennusratkaisuiden määrät voidaan kohdistaa tarkemmin kustannusarviointia varten.

Alustavassa yleissuunnitelmassa eri linjausvaihtoehtoilta voidaan siirtyä mille tahansa seuraavan osuuden linjausvaihtoehdolle, minkä vuoksi linjausvaihtoehtojen rata-geometriat haarautuvat solmupisteille tultaessa. Tässä selvityksessä ratageometrioita on vaihtoehtojen vaihtumiskohdissa paikoin karsittu mallinnusta varten, jotta jokaista linjausvaihtoehtoa vastaa yksi mallinnustulos. Karsintaa on erityisesti tehty Backaksen solmupisteen kohdalla, jossa ratageometrioiden kombinaatioiden määrä oli erityisen suuri. Tästä syystä vaihtoehtojen solmupisteissä kartoilla esitetty ratageometria ei välttämättä muodostu jatkuvaksi yli solmupisteiden. Tämän vaikutus tärinä- ja runkomelu-arvioihin

linjausvaihtoehtojen vertailun kannalta on suhteellisen vähäinen, sillä solmupisteen lähellä sijaitsee vain yksittäisiä rakennuksia.

Ratageometria on mallinnuksessa käsitelty kaksoisraiteen keskilinjana, jolloin laskentamalleissa on otettu huomioon keskilinjan molemmiin puolin sijaitsevat raiteet. Raiteiden välisen etäisyyden on oletettu olevan avoradoilla 5 m ja tunneleissa 18 m koko selvitysalueella. Poikkeuksena tähän on Itäradan liityntä Lentorataan, jossa raiteet haarautuvat omiin tunneleihinsa.

4.3 Ratarakenne ja perustamistavat

Alustavan yleissuunnitelman mukaan avorataosuuksilla ratarakenne on sepelirata, jossa on 1750 mm yhdistetty väli- ja eristyskerros murskeesta ja 550 mm tukikerros. Tunneliosuuksilla raiteet ovat erillisissä ratatunneleissa, joissa tunnelipohjan päällä on yhteensä noin 1000 mm rakennekerrokset. Tunneliosuuksilla on oletettu, että ratatunnelit on louhittu peruskallioon. Suunnittelusta ei ole poissuljettu myöskään kiintoraideratkaisua, mutta tässä selvityksessä laskenta perustuu alustavan yleissuunnitelman aineistoihin, joissa ratarakenne on sepelirata. Kiintoraiteella erityisesti runkomelun lähtöarvot ovat tyypillisesti sepelirataa suurempia.

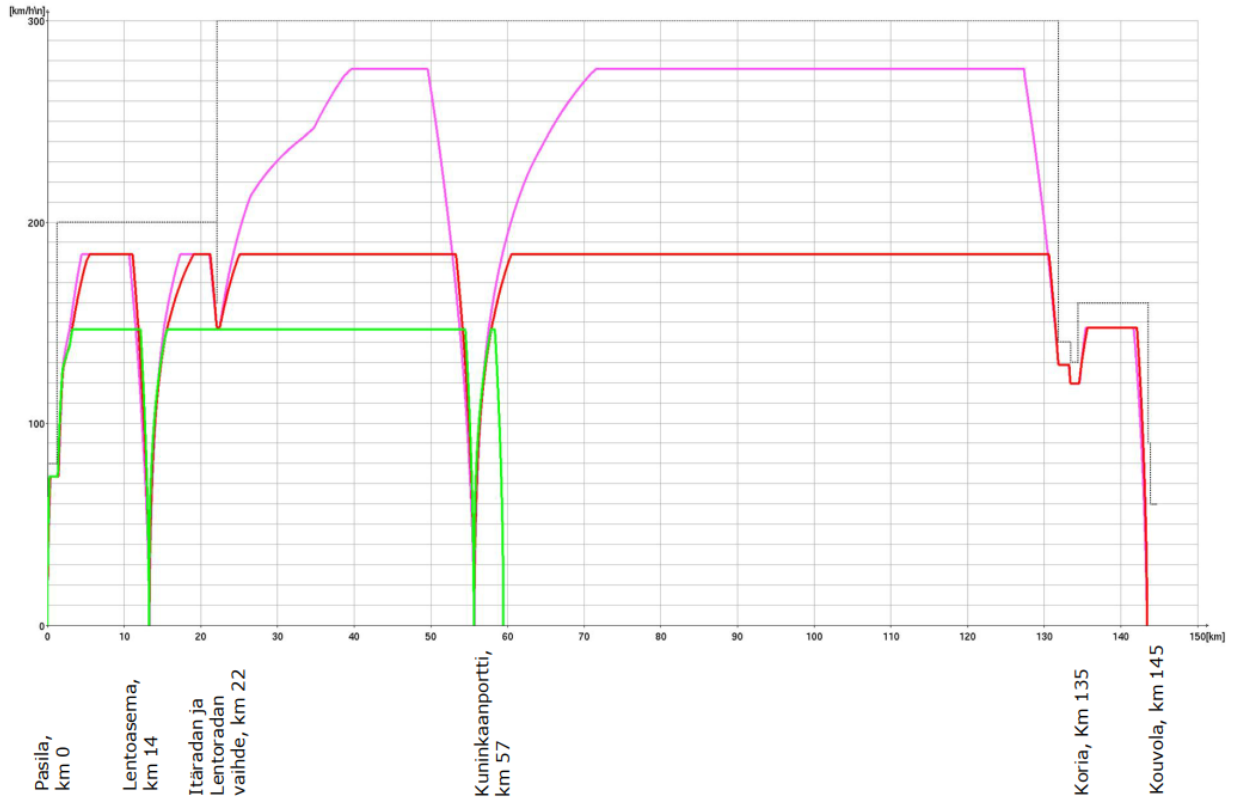
Alustavan yleissuunnitelman mukaiset radan perustamistavat avorataosuuksilla ovat paalulaatta tai maan- tai kallionvarainen. Mallinnuksessa käytetyt lähtötiedot radan perustamistavoista on esitetty karttatulosteissa.

4.4 Liikennetiedot ja junakalusto

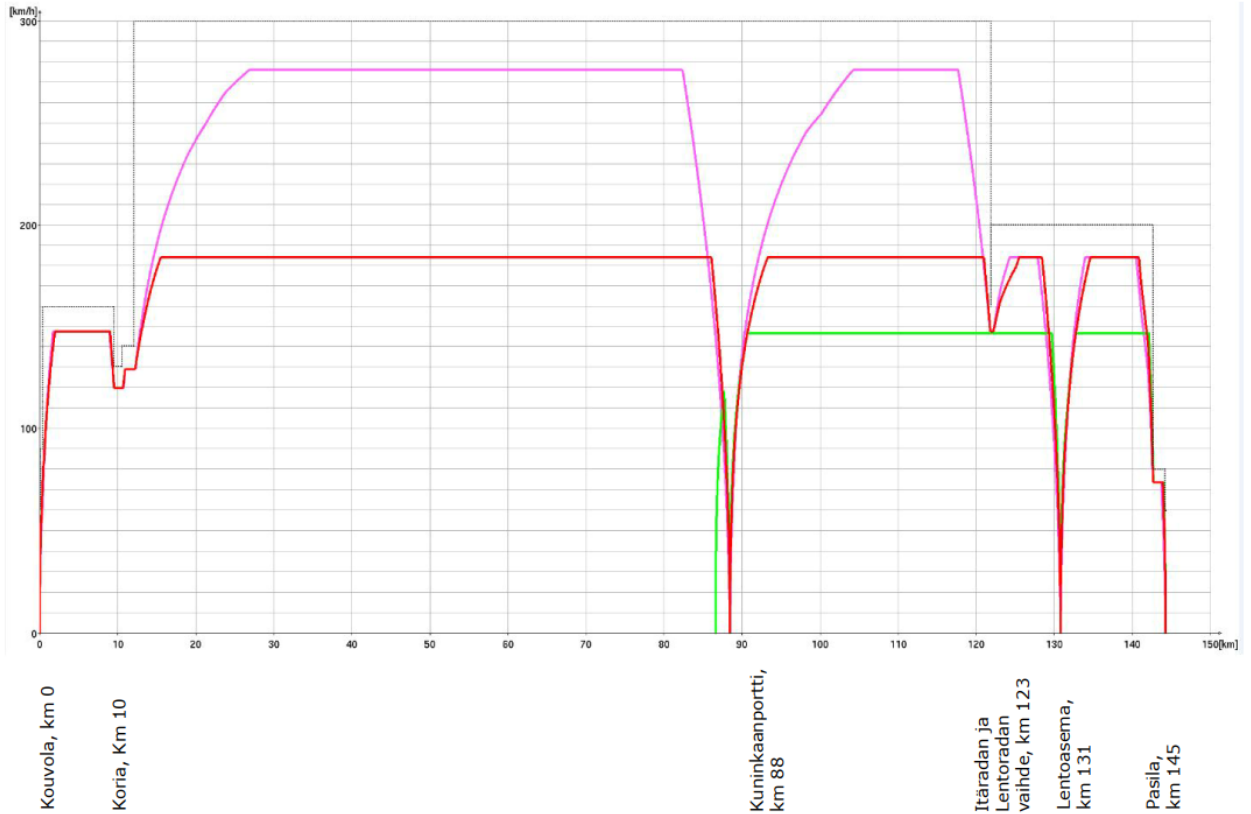
Selvityksessä käytetyt junaliikennetiedot on saatu hankkeen liikennesuunnittelijalta. Radalla on suunniteltu liikennöivän suurnopeusmatkustajajunia, matkustajajunia, lähijunia sekä tavarajunia.

ICE3-suurnopeusjunia on arvioitu liikennöivä 34 kpl päiväaikaan ja 4 kpl yöaikaan koko linjalla Keravalta Kouvolaan. Sm5-lähijunia on arvioitu liikennöivän 60 kpl päiväaikaan ja 12 kpl yöaikaan Keravalta Porvooseen. Tavarajunia on arvioitu liikennöivän Vuosaaren ja Sköldvikin satamista Kouvolaan.

Selvityksessä käytetyt junien nopeustiedot perustuvat liikennesuunnittelun toimittamiin nopeuskaavioihin. Nopeuskaaviot Pasila-Kouvola ja Kouvola-Pasila on esitetty kuvissa 4.2. ja 4.3. Nopeuskaavioissa esitetyt simuloinnit on tehty 92 % ajoteholla.



Kuva 4.2. Nopeuskaavio Pasila-Kouvola. Pinkillä ICE3-juna, punaisella IC-juna, vihreällä Sm5-lähijuna.



Kuva 4.3. Nopeuskaavio Kouvola-Pasila. Pinkillä ICE3-juna, punaisella IC-juna, vihreällä Sm5-lähijuna.

Mallinnuksessa suurnopeusjunille on käytetty nopeuskaavioiden suurinta nopeutta kussakin kohtaa. Suurin nopeus on saatu yhdistämällä kuvissa 4.2 ja 4.3 esitetyt nopeuskaaviot ratakilometreittäin.

Tavarajunilla junaliikennetietojen mukaiset nopeudet ovat 70 km/h, 90 km/h ja 100 km/h raskaalle, tyypilliselle ja kevyelle tavarajunalle.

4.4.1 ICE3 -suurnopeusjunat

Itäradan kaukoliikenteen pääasiallinen matkustajajunatyyppe on ICE3 -suurnopeusjuna, joka suurin nopeus on jopa 300 km/h. Itäradalla suurin nopeuskaavioiden mukainen nopeus on 275 km/h 92 % ajoteholla.

ICE3 -kalusto ei ole Suomessa aiemmin käytetty eikä tarkasta kalustotyyppistä ole täyttä varmuutta. Tässä selvityksessä ICE3 -junan tärinän ja runkomelun lähtöarvot on arvioitu Suomen rataverkoilla tehtyjen nykyisen IC- ja Pendolino-kaluston värähtelymittausten sekä suurnopeusjunien osalta kirjallisuuslähteiden perusteella (Dashti 2023; Nordström 2023).

Tärinä- ja runkomelumallinnuksessa ICE3 on merkitsevä junatyyppi matkustajajunille, vaikka Itäradalla liikennöisikin nykyisin käytössä olevaa IC- tai Pendolino-kalustoa niiden lisäksi.

4.4.2 Sm5-lähijunat

Itäradalla on mahdollisesti myös lähijunaliikennettä Keravan ja Kuninkaanportin välisillä rataosuuksilla. Lähijunien tyyppi on Sm5 ja suurin nopeus 160 km/h. Nopeuskaavion mukainen liikennöintinopeus on noin 145 km/h.

Tässä selvityksessä Sm5-lähijunat ovat merkitsevä junatyyppi ainoastaan linjausvaihtoehdossa K+ eli Kuninkaanportin linjausvaihtoehdossa, jossa lähijunat kulkevat pistoraidetta pitkin Porvoon lähijuna-asemalle.

4.4.3 Tavarajunat

Liikennetietojen perusteella Itäradalla on arvioitu liikennöivän tavarajunia, jotka on jaoteltu kategorioihin kevyempi tavarajuna, tyypillinen tavarajuna ja raskas tavarajuna. Kevyempi tavarajuna on kokonaismassaltaan 1200 t, pituudeltaan 600 m ja nopeudeltaan 100 km/h; tyypillinen tavarajuna 2000 t, 750 m ja 90 km/h; ja raskas tavarajuna 4700 t, 750 m ja 70 km/h.

Tärinän ja runkomelun arvioinnissa käytetyn tilastollisen tunnusluvun mukaisesti tarkastellaan kaluston vaikutuksia tärinän ja runkomelun tunnuslukuihin jakauman kautta. Laskennallista 95. persentiiliä vastaava tavarajuna vastaa tässä raskasta tavarajunaa eli tavarajunaa, jonka paino on 4700 t ja nopeus 70 km/h. Kyseisen tyyppistä junaa on käytetty tässä selvityksessä mitoittava tavarajunana.

4.5 Maaperä ja rakennusten perustamistapa

Maaperän lähtötietona toimi Geologian Tutkimuskeskuksen GTK:n maaperäkartta-aineistoa. Selvityksessä on käytetty seuraavaa GTK:n [CC BY 4.0](#) -lisenssin alaista aineistoa:

- Maaperä 1:20 000/50 000, haettu 15.11.2024.
- Maaperä 1:200 000, haettu 15.11.2024.

Tietoa rakennusten perustamistavoista ei ollut saatavilla. Rakennukset on oletettu perustetun kantavilla maalajeilla maanvaraisesti ja pehmeillä maalajeilla paalujen varaan. Tietoa maakerroksen paksuudesta rakennusten ja kallioperän välissä ei ollut saatavilla, joten maakerroksen paksuuden vaikutusta erityisesti tunneliosuuksien runkomeluun ei ole otettu arvioinnissa huomioon.

4.6 Suunniteltu maankäyttö

Suunniteltua maankäyttöä ei ole merkittävässä määrin tiedossa Itäradan linjausvaihtoehtojen läheisyydessä. Tässä selvityksessä ei ole otettu huomioon tulevaa maankäyttöä vaimennustarpeiden määrittelyssä.

5 Arviointimenetelmät

Tärinän ja runkomelun laskenta toteutettiin Vibmapper®-ohjelmistolla. Vibmapper:in laskenta pohjautuu VTT:n julkaisuissa esitettyihin laskentamalleihin, joita on tarkennettu tutkimuskirjallisuuden, mittaustulosten sekä toisista hankkeista saatujen kokemusten perusteella. Lentoradan ja Itäradan osalta tehtiin kesällä 2024 lähtötietomittauksia avo- rata- ja tunneliosuuksilla (AINS, 2024a), joita on tässä käytetty tärinä- ja runkomeluherätteiden lähtötietoina. Laskentamalleilla arvioidaan raideliikenteestä aiheutuvat tärinä- ja runkomelutasot rakennuksissa, jotka sijaitsevat radan läheisyydessä. Laskennassa hyödynnetään edellisessä kappaleessa esiteltyjä lähtötietoja.

5.1 Tärinän laskentamalli

Tärinätaasoja maaperässä ja rakennuksissa on arvioitu laskentamallilla, joka pohjautuu julkaisussa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* esitettyyn laskentamalliin (Törnqvist & Talja, 2006). Laskentamalli arvioi pystysuuntaisen W_m -painotetun värähtelytason maaperässä kaavalla

$$v_{z,wm} = v_{wm,15} k_D k_S k_G k_R k_E k_P F. \quad (1)$$

Laskentamallin muuttujat ovat

- pystysuora vertailuvärähtelyn nopeus 15 m etäisyydellä raiteen keskilinjasta $v_{wm,15}$.
- etäisyyskerroin k_D . Värähtelyn vaimeneminen riippuu maalajin ominaisuuksista.

- $k_D = \left(\frac{D_0}{D}\right)^B$, missä $D_0 = 15$ ja etäisyys eksponentti B :n arvo riippuu maalajista
- nopeudesta riippuva kerroin k_S . Laskentamallissa yli 70 km/h nopeudet kasvattavat tärinätasoja.
 - $k_S = \frac{S}{S_0}$
 - Laskentamalli ei lähteessä (Törnqvist & Talja, 2006) esitettyssä muodossa tunne alle 70 km/h nopeuksia. Alle 70 km/h nopeuksissa tärinätasot voivat pienentyä, mutta niiden arviointi on epävarmaa.
- painosta riippuva kerroin k_G
- radan kunnosta riippuva kerroin k_R
- vaihteista ja eristysjatkoksista aiheutuvaa tärinän vahvistumista kuvaava kerroin k_E (AINS, 2023)
- pengervärähtelykerroin, k_P (Madshus & Kaynia, 2001)
- varmuuskerroin F .

Mallinnuksessa käytetyt arvot on kalibroitu lähtötietomittausten (AINS, 2024a) ja muiden aiemmin tehtyjen mittausten perusteella mallinnuksen merkitseville junatyypeille. Edellä mainittujen muuttujien arvoja on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1. Tärinän laskentaparametrit.

	Maalaji-indeksi				
	1	2	3	4	5
	(lieju yms.)	(savi yms.)	(hieta yms.)	(moreeni yms.)	(kallio)
$v_{wm,15,T}$ [mm/s]	0,9	0,7	0,5	0,3	0,05
$v_{wm,15,ICE3}$ [mm/s]	0,7	0,5	0,3	0,2	0,02
B	0,6	1	1,5	2	2
k_R	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

k_E	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
v_c	60	120	160	300	1000

Maalaji-indeksit luokittelevat maalajit eri luokkiin niiden ominaisuuksien perusteella. Luokkaan 1 kuuluu esimerkiksi lieju, luokkaan 2 savi, luokkaan 3 hieta, luokkaan 4 moreeni ja luokkaan 5 kallio.

Pengervärähtelykerrointa k_p on käytetty suurnopeusjunien arvioinnissa. Pengervärähtely syntyy junan nopeuden lähestyessä ratarakenteen ja maaperän leikkausaallonnopeutta eli kriittistä nopeutta (Madshus & Kaynia, 2001; Partanen, 2020) Tärinän on tässä arvioitu voimistuvan kolminkertaiseksi, eli $k_p = 3$, junan nopeuden lähestyessä maalajityypille määritettyä leikkausaallonnopeutta. Kriittiset nopeudet v_c eri maalajeille on esitetty taulukossa 5.1.

Tärinän vaimentuminen radalta rakennukseen päin on laskettu rakennuksen ja radan välillä sijaitsevien maalajien perusteella. Rakennuksissa esiintyvä tärinä on arvioitu maaperän pystysuuntaisesta W_m -painotetusta värähtelytasosta.

Maaperästä rakennuksen perustuksiin siirtyminen on arvioitu kertoimella (Talja *et al.*, 2008)

$$k_{per} = -\frac{\log_{10}\left(\frac{f}{80}\right)}{\log_{10}(8)}, 0 \leq k_{per} \leq 1, \quad (2)$$

jossa värähtelyn merkitsevä taajuus f on arvioitu maalajiluokan perusteella.

Tärinä voi ilmetä rakennuksessa esitettyä lukuarvoa vielä suurempana, mikäli rakennuksen resonanssit vahvistavat värähtelyä. Rungon resonanssi voi voimistaa tärinätaasoja 1–10 kertaiseksi. Rakennuksen resonanssin vaikutuksen arviointi käytettävissä olevilla lähtötiedoilla on epävarmaa ja sitä ei tässä sen suuren epävarmuuden vuoksi ole sisällytetty tarkasteluun.

5.2 Runkomelun laskentamalli

Avorataosuuksien runkomelutasoja on arvoitu laskentamallilla, joka pohjautuu VTT:n julkaisussa (Talja & Saarinen, 2009) esitettyyn laskentamalliin. Laskennassa oletetaan, että runkomelun herätetaso vaimenee etäisyyden suhteen seuraavasti:

$$L(d) = A - B \log_{10} \left(\frac{d}{d_{\text{ref}}} \right) - C(d - d_{\text{ref}}), \quad (3)$$

missä d on tarkasteluetaisyys radan keskipisteestä ja d_{ref} on referenssietäisyys. Kertoimet A ja B ovat vakioita ja kerroin C riippuu radan alla sijaitsevasta maaperästä. Tässä A on 55 dB, B on 14 dB, C on 0,17 dB/m ja referenssietäisyys d_{ref} 15 m. Tässä esitetty laskentakaava (3) poikkeaa VTT:n ohjeesta viimeisen termin osalta. Viimeinen termi vaikuttaa kaukokentässä tapahtuvaan vaimenemiseen, joka aikaisempien mittausten perusteella oli VTT:n mallissa hieman liian pieni.

Lopullinen runkomelun äänitaso lasketaan etäisyysvaimennuksen $L(d)$ ja korjaustermien ΔL_i summana (Talja & Saarinen, 2009):

$$L_p(d) = L(d) + \sum \Delta L_i, \quad (4)$$

Laskenta on suoritettu seuraavilla korjaustermeillä:

- vaihteiden ja eristinjatkosten kohdalla on epäjatkuvuuskohta, joka tuottaa D :n suuruisen, runkomelutasoa korottavan vaikutuksen 15 m etäisyydellä epäjatkuvuuspisteestä; tätä kauempana vaikutus vaimenee pistelähteen tavoin (lasketaan käyttäen (3) ja asettamalla $B = 20$ dB) (AINS, 2023). Tässä D on 6 dB.
- junan nopeuden vaikutus arvioidaan termillä $\Delta L_v = 16 \log_{10} \left(\frac{v}{v_{\text{ref}}} \right)$, missä v on junan nopeus ja v_{ref} on referenssinopeus. Referenssinopeus ICE3-junalle on 160 km/h ja tavarajunalle 80 km/h.

Tunneliosuuksien runkomelutasoja arvioitiin laskentamallilla, joka perustuu kalliotunneleista tehtyyn elementtimenetelmämallinnukseen COMSOL Multiphysics -ohjelmistolla. Mallinnuksella tutkittiin tunnelien syvyyden, keskinäisen etäisyyden ja kalliooperän ominaisuuksien vaikutusta värähtelyn etenemiseen ja vaimenemiseen.

Laskentamalli ottaa huomioon tunnelivarjostusilmiön, jonka myötä suoraan tunnelin yläpuolella värähtelytasot ovat pienempiä kuin tavanomaisilla laskentamalleilla arvioituna. Tunnelivarjostuksen myötä värähtelytaso tunnelin päällä on likimain vakio noin 70 m etäisyydelle, jossa tavarajunan arvioitu runkomelutaso kalliossa on 50 dB ja ICE3-junan vastaavasti 45 dB. Tunneliosuuden runkomelutasot yli 70 m etäisyydellä saadaan samalla kaavalla (3), mutta laskentaparametrit eroavat avorataosuudesta. Tunneliosuudella kerroin $A_T = 63$ dB, $A_{ICE3} = 58$ dB $B = 14$ dB ja $C = 0,06$ dB.

Runkomelun herätetasot ja -spektrit määritettiin tutkimuskirjallisuuden ja Lentoradan ja Itäradan lähtötietoja varten tehtyjen mittausten perusteella (AINS, 2024a) sekä muiden aiemmin tehtyjen mittausten perusteella.

5.3 Epävarmuudet

Epävarmuudet värähtelyn laskennallisessa arvioinnissa liittyvät maaperän ominaisuuksien vaihteluun, värähtelyherätteen etäisyyteen, kalustoon ja radan kuntoon, sekä värähtelyn siirtymisen arviointiin rakennustyypin mukaan.

Värähtelyn laskennallisessa arvioinnissa maaperän ominaisuudet ja niiden vaihtelu radan ja tarkasteltavan kohteen välillä vaikuttavat suuresti värähtelyn esiintymiseen rakennuksessa. Maaperän ominaisuudet voivat mallissa poiketa hyvinkin paljon todellisista ominaisuuksista. Radan ja tarkasteltavan rakennuksen väliin jäävien muiden rakennusten värähtelyä vaimentavaa vaikutusta ei voida laskentamallilla luotettavasti arvioida.

Rakennusten rungon resonansseja ei ole otettu tärinän arvioinnissa huomioon. Tärinätasot rakennuksissa voivat olla arvioitua suurempia silloin, kun rakennuksen rungon resonanssi voimistaa tärinää. Mahdollinen tärinän voimistuminen riippuu rakennuksen rungon dynaamisista ominaisuuksista, maaperästä sekä tärinän taajuussisällöstä.

Runkomelun osalta kalliomailla sijaitsevat rakennukset on oletettu kalliolle perustetuiksi, mikä vastaa runkomelun kannalta pahinta tilannetta. Lisäksi on oletettu, että radan kohdalla pohjamaa ei erityisesti vaimenna värähtelyn kytkeytymistä koviin maakerrokseen tai kallioperään.

Värähtelyn vaimeneminen etäisyyden kasvaessa on suuresti riippuvainen maaperäolosuhteista. Suuremmilla etäisyyksillä arvioinnin epävarmuus kasvaa, erityisesti vaihtuvilla maalajeilla.

Liikennöivän kaluston osalta tärinään vaikuttavia asioita ovat erityisesti junien paino ja kaluston kunto. Runkomelun osalta vastaavasti vaikuttavia tekijöitä ovat junien nopeus ja junatyyppi.

Tässä selvityksessä matkustajajunien osalta arvioinnin epävarmuuteen merkittävä tekijä on kalustotyyppi, josta ei ole varmuutta. ICE3-junan tärinä- ja runkomeluherätettä on arvioitu tutkimuskirjallisuuden ja muista junatyypeistä tehtyjen mittausten perusteella. Suurnopeusjunilla runkomeluherätteeseen vaikuttaa hitaampia junia merkittävämmiin kiskonkarheus ja kunto, joiden aiheuttamat epävarmuudet ovat haastavia arvioida. Suurilla ajonopeuksilla myös kriittisen nopeuden aiheuttama ylläänialto voi lisätä tärinärisiä.

6 Tärinän ja runkomelun vaimennusratkaisut

Uusien ratalinjausten tärinä- ja runkomeluvaikutuksien hallitsemiseksi ratarakenteisiin tulee suunnitella vaimennusratkaisuja, joiden tarkoitus on vähentää tärinä- tai runkomeluhaittoja läheisissä kiinteistöissä verrattuna tavanomaiseen ratarakenteeseen. Tässä on esitetty tyypillisesti käytettyjä ratkaisuja tärinän ja runkomelun vaimennukseen sekä pyritty arvioimaan niillä saavutettavia vaimennuksia.

Itäradan alustavassa yleissuunnitelmassa lähtökohtana on sepelirata koko ratalinjalla, mutta kiintoraiteen käyttöä ei ole poissuljettu. Tästä syystä tässä on esitetty myös kiintoraiteen vaimennusratkaisuja runkomelun vaimennukseen.

6.1 Tärinän vaimennusratkaisut

Tyypillisiä rataa toteutettavia tärinän vaimennusratkaisuja ovat syvästabilointi, massanvaihto, pengerlaatta, paalulaatta ja pohjainpölkkyt. Ratarakenteessa tärinän torjuminen perustuu siis pohjamaan vahvistamiseen, jolloin pienillä taajuuksilla esiintyvä tärinä ei synny yhtä voimakkaasti kuin pehmeillä pohjamailla. Tärinän torjuntaa voidaan toteuttaa myös radan viereen syvästabilointipilareista koostuvilla kennorakenteilla, ponttiseinillä ja muilla vastaavilla tärinän etenemiseen vaikuttavilla rakenteilla. Tässä on esitetty

tyypillisimpiä ja toteutuskelpoisimpia teknisiä ratkaisuja avorataosuuksien tärinäntorjuntaan.

6.1.1 Paalulaatta

Suurimmat tärinäriskit koskevat pehmeikköalueita, joissa toimiva tärinäntorjuntakeino on usein paalulaatta, joita usein tarvitaan jo radan pohjanvahvistuksen vuoksi. Paalulaatan on arvioitu vaimentavan tärinää jopa 90 % (Hakulinen 1999). Vaimennuskyky riippuu kuitenkin pohjamaan ominaisuuksista.

6.1.2 Stabilointirakenne radan vieressä

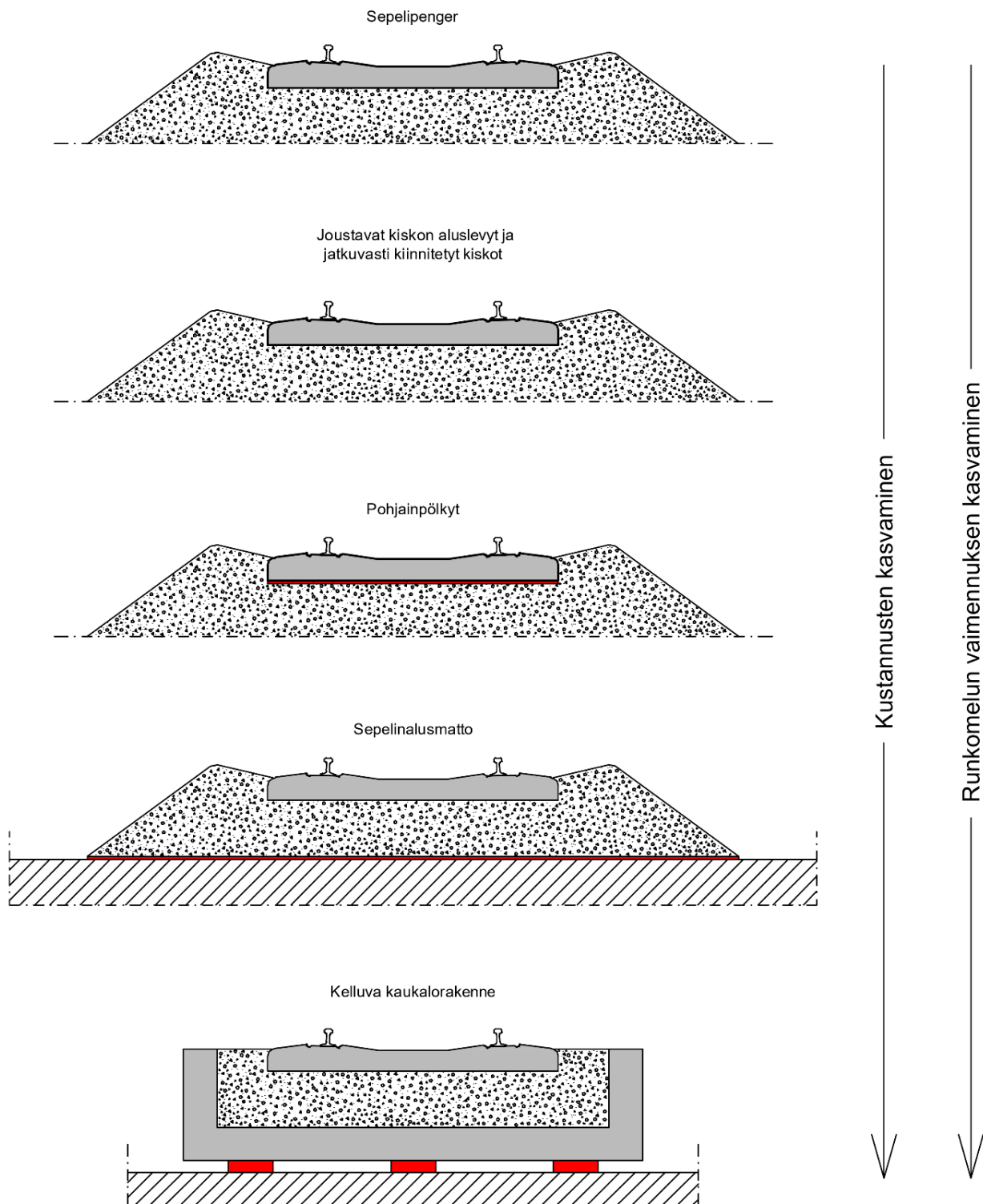
Syvästabilointipilareista koostuva kennomainen rakenne voi vaimentaa tärinää radan ja rakennuksen väliin rakennettaessa. Vaimennuksen suuruus riippuu maakerrosten ominaisuuksista, sillä rakenteen vaimennus perustuu tärinää välittävien maakerrosten katkaisuun värähtelyn siirtoreitillä. Rakenteella on saavutettu parhaimmillaan jopa noin 50 % vaimennuksia tärinään mutta vaimennuskyky voi vaihdella kohteen ominaisuuksien mukaan (Huhtala *et al.*, 2017).

6.1.3 Pohjainpölkkyt

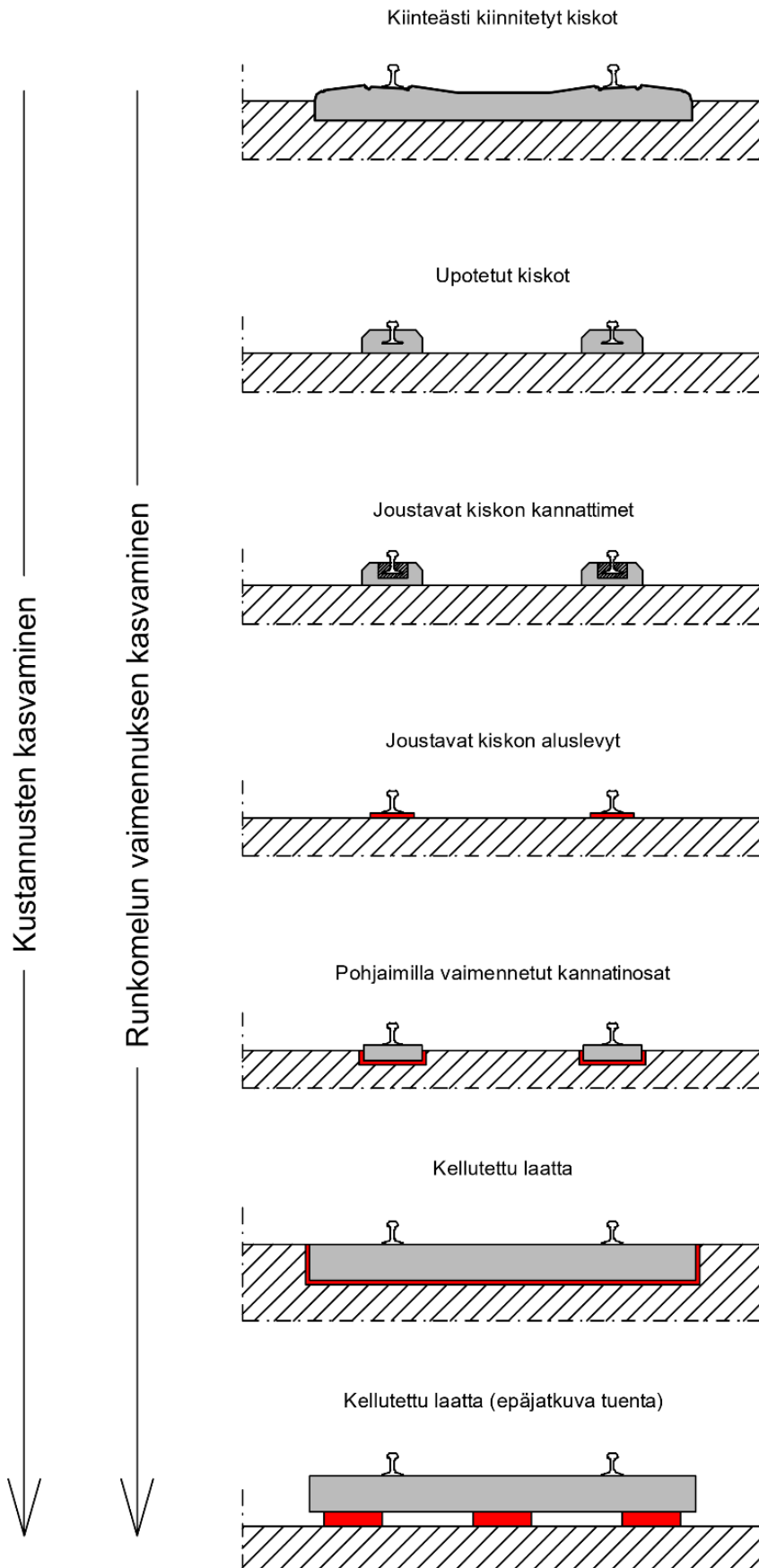
Pohjainpölkkyillä on todettu olevan tärinää vaimentava vaikutus raskaiden tavarajunien tärinään (Pelho *et al.*, 2023). Pohjainpölkkyillä saavutettu tärinänvaimennus on noin 25 %, kun pohjamaa on tärinälle altista, mutta ei kuitenkaan pehmeikköä. Tutkimuksen perusteella jäykkyydeltään keskimääräinen pohjain toimi tärinän vaimennuksessa paremmin kuin erityisen löysä tai jäykkä pohjain.

6.2 Runkomelun vaimennusratkaisut ratarakenteessa

Runkomelun vaimentamiseen ratarakenteessa voidaan käyttää kuvan 6.1 mukaisia ratkaisuja. Tässä esitetään dokumentoituja mittaustuloksia kullekin vaimennusratkaisulle.



Kuva 6.1. Värähtelyn vaimennusratkaisuja sepeliradalle standardin ISO 14837-1 mukaisesti



Kuva 6.2. Värähtelyn vaimennusratkaisuja kiintoraidelaatalle standardin ISO 14837-1 mukaisesti

Ratkaisut on jaettu sepeliradan ja kiintoraideradan ratkaisuihin kuvan 6.1 ja 6.2 mukaisesti. Junaherätteen kannalta mielenkiintoinen taajuuskaista tässä selvityksessä avoradalla on 50 Hz ... 160 Hz ja tunneliosuudella 80 Hz...500 Hz. Kirjallisuudessa dokumentoiduissa mittauksissa korkein tarkastelu terssikaista on usein 250 Hz, mutta tätä korkeampiakin taajuuksia on dokumentoitu.

Tunnetuimpia ja käytetyimpiä ratkaisuja runkomeluntorjuntaan ovat sepelinalusmatto, pohjainpölkky ja kellutettu kiintoraide. Kuten kuvasta 6.1 ja 6.2 nähdään, kellutettuja ratkaisuja voidaan käyttää sekä kiintoraideradalla, että sepeliradalla. Elastisena materiaalina ratarakenteissa on käytetty muun muassa jousia, elastomeeria, kivivillaa ja erilaisia kumiseoksia. Ratarakenteisiin elastisia materiaaleja valmistavia yrityksiä on tällä hetkellä pelkästään Euroopassa yli kymmenen. Tässä ei käsitellä eri yritysten tarjoamia tuotteita tai ratkaisuja tai näiden vaimennuskykyä vaan toteutettujen ratarakenteiden vaimennuskykyä.

Vaimennuskyky määritellään lisäyshäviönä, joka kuvastaa kuinka paljon runkomelun vaimennusratkaisu vaimentaa runkomelua verrattuna referenssirataan, jossa ei ole vaimennusta. Lisäyshäviö voidaan mitata missä tahansa vastaanottopisteessä ja kirjallisuudessa mittauspisteiden valinta riippuu sovelluksesta. Tässä ja usein kirjallisuudessakin vaimennusta on tarkoitus saavuttaa värähtelylle altistuvissa rakennuksissa. Lisäyshäviö kuitenkin yleensä mitataan läheltä rataa tai ratarakenteesta, koska kaikista altistuvista rakennuksista mittaaminen on selvästi työläämpää.

Referenssiratana mittauksissa on kaksi vaihtoehtoa. Olemassa olevasta radasta voidaan käyttää vaimentamatonta osaa referenssinä tai mitata lähtötaso ennen vaimennustoimenpiteitä. Siirtomobiliateettimittauksilla voidaan ottaa lisäyshäviölaskelmissa huomioon referenssirataosuuden ja vaimennetun rataosuuden siirtotien erot.

Mittauksissa kiintoraideradan referenssi on usein kiintoraide, jossa ei ole vaimennusratkaisua. Tällainen rata välittää yli 10 dB enemmän runkomelua verrattuna tilanteeseen, jossa kiinteän rakenteen päällä on sepelirata (Lakusic *et al.*, 2010). Kun arvioidaan lisäyshäviötä kiintoraideradalle, tulisi ottaa huomioon, että kiintoraiderata on jo lähtökohdaisesti runkomelun kannalta äänekkäämpi ratkaisu.

6.2.1 Sepeliradat

Suomessa sepeliradat ovat vallitseva ratatyyppe. Sepeliratojen tyypillisimpiä runkomelun vaimennusratkaisuja ovat pohjainpölkkyt ja sepelinalusmatot. Sepeliradan rakennekerrokset vaimentavat jo itsessään hyvin runkomelua verrattuna vaimentamattomaan kiintoraideratkaisuun eli kiintoraideratkaisu aiheuttaa tyypillisesti luokkaa 10 dB suuremman herätetason runkomelulle.

6.2.1.1 Sepelinalusmatto

Sepelinalusmatto on yleinen ratkaisu runkomelun torjunnassa ja sitä on käytetty Suomessa valtion rautateillä ainakin Kehäradalla tunneleissa, avorataosuuksilla sekä juna-asemilla, Savion tunnelissa, Riihimäen kolmioraiteessa, pääradalla Kytömaa-Ainola osuuden paalulaatoilla ja Espoon kaupunkiradalla paalulaatoilla. Suomessa toteutetuissa sepelinalusmatoissa sijoittuminen ratarakenteeseen poikkeaa ISO 14837-1 standardista, jossa sepelinalusmatto on asennettu suoraan sepelikerroksen alle. Lähes kaikissa Suomen toteutuksissa sepelinalusmatto on sijoitettu ratarakenteen pohjalle, eristyskerroksen tai yhdistetyn väli- ja eristyskerroksen alle.

Ainakin Savion tunnelin toteutunut vaimennus on mitattu rakentamisen jälkeen (Akukon, 2009), mutta näistä mittauksista ei ole saatu dokumentoitua tietoa. Tiedon puutteen vuoksi 2024 mitattiin Suomessa käytettyjen sepelinalusmattojen toteutunutta vaimennuskykyä (AINS, 2024a; AINS, 2024b). Savion tunnelissa, Kehäradalla ja Espoon kaupunkiradalla toteutunut vaimennus oli taajuuskaistalla 80 Hz...500 Hz pienimillään alle 0 dB. Laajakaistainen vaimennus Savion tunnelissa oli 12 dB...14 dB, Kehäradalla 0 dB ja Espoon kaupunkiradalla 4 dB. Kytömaa-Ainola rataosuuden mittaukset toteuttaneen keväällä 2025. Lisäksi Espoon kaupunkiradalla tultaneen toteuttamaan lisämittauksia kesällä 2025.

Kirjallisuudessa esitetyissä mittaustuloksissa sepelinalusmatot on asennettu ISO 14837-1 standardi ehdottamalla tavalla. Sepeliradalla pehmeällä maalajeilla, sepelin alle asennettuna, sepelinalusmatolla vaimennuskyky on intercity-junilla 50...160 Hz taajuuskaistalla pienimmillään 0 dB ... 3 dB (Müller, 2008). Kovemmilla maalajeilla vaimennuskyky on 7...8 dB samalla taajuuskaistalla (Müller, 2008). Samankaltaiseen, noin 8 dB vaimennustulokseen, on päädytty intercity-junilla jo aiemmin (Wettschureck, 1995).

Tavarajunilla kovalle maaperälle sepelikerroksen alle asennettuna vaimennuskyky on pienimmillään noin 15 dB 15...160 Hz taajuuskaistalla (Sehner *et al.* 2023).

Tunneleissa sepelinalusmattojen vaimennuskyky on hieman parempi kuin avoradalla. Kiveen louhitussa tunnelissa saavutettu vaimennuskyky vaihtelee 12 dB...14 dB 80 Hz...250 Hz kaistalla, kun matto asennetaan sepelikerroksen alle (Cleave *et al.* 2005). Lisävaimennusta voidaan saavuttaa, jos rataa tehdään paksumpi eristyskerros tunnelin pohjalle ja sepelinalusmatto asennetaan tunnelin pohjalle (Cleave *et al.* 2005).

Laajakaistaisesti vaimennuskyvystä näissä tapauksissa ei kirjallisuudessa ole esitetty tuloksia.

6.2.1.2 Pohjainpölkky

Pohjainpölkky on useasti käytetty ratkaisu radan stabiliteetin parantamiseksi. Useasti pohjainpölkkyä käytetään myös runkomelun vaimennukseen. Suomessa sitä on käytetty Kytömaa-Ainola ja Espoon kaupunkiradassa runkomelun vaimennukseen. Näistä ei kuitenkaan ole vielä saatavilla mittaustuloksia.

Avoradalla sepelikerroksen päällä saavutettu lisäyshäviö intercity-junilla 50...160 Hz taajuuskaistalla on pienimmillään 0...12 dB (Müller, 2008; Loy *et al.* 2018, Zakeri *et al.* 2015). Vaimennuskyky riippuu vahvasti pohjamaasta, siten, että jäykällä maaperällä saavutetaan enemmän vaimennusta. Toisaalta runkomelun vaimennustarve on usein vähäisempi pehmeillä maalajeilla.

Tunneliosuuksilla vaimennuskyky on intercity-junilla 80...250 Hz taajuuskaistalla pienimmillään 8...10 dB (Müller 2008; Loy *et al.* 2018). Koerakenteessa sepeliradalla vaimennuskyvyn on mitattu olevan pienimmillään noin 9 dB 80...250 Hz taajuuskaistalla (Lakusic *et al.* 2010).

6.2.1.3 Radan tukikerroksen paksuus

Radan tukikerroksen jäykkyys, materiaali ja paksuus vaikuttavan maaperään siirtyvään värähtelyn tasoon (Peltonen & Backholm, 2009; Lakusic & Ahac; 2012). Runkomelulle penkereen vaikutus voi laskennallisesti olla jopa 20 dB (Peltonen & Backholm, 2009), mutta mittauksia penkereen tai pengerkorkeuden vaikutuksesta runkomeluun ei kuitenkaan ole tiedossa. Teknistaloudellisesti ratapenkereen korkeuden käyttäminen

vaimennusratkaisuna on kuitenkin haastavaa, sillä korkotaso ja radan perustaminen määräytyvät muun suunnittelun lähtökohdista. Joissain tapauksissa riittävällä pengerkorkeudella voidaan kuitenkin saada riittävä vaimennus ilman muita ratkaisuja.

6.2.1.4 Joustavat kiskonaluslevyt ja kiinnitys

Kiskon ja pölkyn väliin, välilevyn alle tai sen sijasta, voidaan asentaa joustava välilevy, joka voidaan mitoittaa vaimentamaan runkomelua. Joustavan kiskonaluslevyn vaimenusominaisuuksia ei ole laajasti mitattu sepeliradan tapauksessa.

6.2.2 Kiintoraiderata

Kiintoraideradan vaimennusratkaisuja on aiemmin selvitetty kehäradan suunnittelun yhteydessä (Kehärata, 2008). Useita erityyppisiä ratkaisuja on listattu esimerkiksi Kehäradan selvityksessä. Kiintoraideratkaisuja tutkitaan ja kehitetään edelleenkin lisää, erityisesti suurnopeusradoille (Xu *et al.* 2025).

6.2.2.1 Kellutettu kiintoraidelaaatta

Kellutetun kiintoraidelaaatan vaimennuskyky on standardin ISO 14837-1 mukaan kaikista ratkaisuista suurin. Intercity junilla sillä on saavutettu vähintään 20 dB lisäyshäviö 80 Hz...250 Hz taajuuskaistalla tunnelissa (Heiland & Mistler, 2013).

6.2.2.2 Joustavat pölkynaluslevyt

Pohjainpölkkyä vastaava ratkaisu kiintoraidelaaatalle on joustava pölkynaluslevy (eng. Booted sleeper). Kiintoraidelaaatalla voidaan käyttää yhden tai kahden raiteen kattavaa pölkkyä. Koerakenteessa betonilaatan päälle kelluvan pohjainpölkyn vaimennuskyvyn on mitattu olevan pienimmillään noin 5 dB 80 Hz...500 Hz kaistalla (Lakušić *et al.* 2010).

6.2.2.3 Joustava välilevy tai joustava kiinnitys

Kuten sepeliraiteessa, myös kiintoraideradalla voidaan käyttää joustavaa välilevyä. On arvioitu, että joustavalla kiinnityksellä, kiskonvaimentimella tai kiskonaluslevyllä voidaan saavuttaa 8 dB...19 dB vaimennus (Ouakka *et al.* 2022). Raitiovaunuille joustavan välilevyn on arvioitu vaimentavan 5 dB ...10 dB (Lakušić & Ahac, 2012, Quagliata *et al.*

2018). Metroille kiskonaluslevyillä on mitattu 10 dB vaimennus runkomelulle tunneli-osuudella (Alsharo, *et al.* 2023) ja intercity-junille 13 dB (Bewes *et al.* 2007).

6.3 Tärinän vaimennusratkaisujen kustannusarviot

Tärinän vaimennusratkaisu on tässä selvityksessä esitetty 3 eri tavoitevaimennusluokassa, joita vastaavat tekniset ratkaisut ja arvioidut kustannukset raidemetriä (rd-m) kohden on esitetty taulukossa 6.1. Kustannukset on arvioitu tasossa MAKU=128,2 (2020=100). Stabilointirakenteen ja paalulaatan arvioidut kustannukset sisältävät materiaalikustannuksen lisäksi rakentamiskustannuksia, pohjainpölkyn arvioitu kustannus on materiaalikustannus. Kustannukset eivät sisällä työmaa- ja tilaajatehtäviä. Stabilointirakenne vaimentaa tärinää ainoastaan sillä puolella rataa, jolle se on toteutettu, mutta tässä selvityksessä käsitellyn kaksoisraiteen tapauksessa stabilointirakenne on oletettu toteutettavan molemmiin puolin rataa.

Taulukko 6.1. Tärinän vaimennusratkaisujen arvioidut vaimennusmäärät ja materiaalikustannukset

Vaimennusratkaisu	Suurin arvioitu tärinä-vaimennus	Arvioitu kustannus (alv. 0 %)
Avorata		
Pohjainpölkky	25 %	50 €/rd-m
Stabilointirakenne radan vieressä	50 %	1000 €/rd-m
Paalulaatta	75 %	2500 €/rd-m

6.4 Runkomelun vaimennusratkaisujen kustannusarviot

Runkomelun vaimennusratkaisu on tässä selvityksessä esitetty 6 eri luokassa, joita vastaaville teknisille ratkaisuille on esitetty asiantuntija-arviona niillä saavutettava runkomelun vaimennus sekä materiaalikustannus raidemetriä kohden (rd-m) taulukossa 6.2. Kustannukset on arvioitu tasossa MAKU=128,2 (2020=100). Kustannukset eivät sisällä työmaa- ja tilaajatehtäviä. Vaimennusratkaisu on esitetty sepeliradalle. Sepelin alusmaton leveydeksi on arvioitu 5 m raidetta kohden.

Taulukko 6.2. Runkomelun vaimennusratkaisujen arvioidut runkomeluvaimennukset ja materiaalikustannukset

Vaimennusratkaisu	Suurin arvioitu runkomeluvaimennus	Arvioitu materiaalikustannus (alv. 0 %)
Avorata		
Pohjainpölkky, pehmeä pohjamaa	6 dB	50 €/rd-m
Pohjainpölkky, kova pohjamaa	12 dB	50 €/rd-m
Sepelinalusmatto, kova pohjamaa/jäykkä alusta	15 dB	150 €/rd-m
Tunnelirata		
Pohjainpölkky	12 dB	50 €/rd-m
Sepelinalusmatto, 18 dB	18 dB (80 Hz...500 Hz)	150 €/rd-m
Sepelinalusmatto, 24 dB	24 dB (125 Hz... 500 Hz)	300 €/rd-m

7 Tulokset

Tärinä- ja runkomelumallinnuksen tulokset on esitetty karttalehdillä raportin liitteissä. Liitteessä 1 on esitetty matkustajajunan tärinäkartat, liitteessä 2 matkustajajunan runkomelukartat, liitteessä 3 tavarajunan tärinäkartat ja liitteessä 4 tavarajunan runkomelukartat. Liitteissä eri linjausvaihtoehdot on esitetty seuraavan jaon mukaisesti alaluokkiin A, B, C, D, E ja F:

- A: N,SP,SE,AK - SP,SE,AK - SP - K - LE,LP - LE -TK
- B: SE - P - LE,LP - LP - LP,M
- C: AK - VP2
- D: N - VP3 - M
- E: NE
- F: K+

Tärinä- ja runkomelukartoilla rakennukset, joihin tärinän ja runkomelun arviot on laskettu, on esitetty eri väreillä. Värit kertovat kuinka paljon suurempi rakennukselle arvioitu tärinä- tai runkomelutaso on suhteessa kyseiselle rakennustyyppille määritettyyn ohjearvoon. Arviointi on tehty kaikille taulukon 3.1 arvoilla eri rakennustyypeille. Eri rakennustyyppijä ei ole eritelty karttatulosteisiin, koska arvioituja tärinä- ja runkomeluarvoja verrataan suoraan valittuun ohjearvoon. Rakennusten tärinä- ja runkomelutasot on esitetty kartoilla tilanteessa, jossa rataa ei ole toteutettu vaimennustoimenpiteitä.

Laskettujen tärinä- ja runkomelutasojen perusteella määritetyt tärinän- ja runkomelun vaimennustarpeet on esitetty radalle merkittyinä väreinä. Laskennalliset vaimennustarpeet sellaisenaan toteutettuna kaikkien rakennusten tärinä- ja runkomelutasot alittavat niille määritetyt ohjearvot.

Tässä esitetyissä tuloksissa on otettu huomioon ainoastaan uudet suunnitellut ratalinjaukset, ei olemassa olevia ratoja. Erityisesti Itäradan liittymiskohdassa Lahti–Kouvola-rataan alueella nykytilanteessa vallitsevia tärinä- ja runkomelutasoja ei ole otettu huomioon, vaan tulokset on esitetty uuden suunnitellun linjauksen ja Lahti–Kouvolaan rataa tulevien, Itäradasta johtuvien muutosten mukaisesti verraten kunkin rakennustyyppin ohjearvoihin.

Kuvassa 7.1. on esitetty esimerkkinä kuvakaappaus runkomelukartan karttaselitteestä. Rakennusten osalta kartoissa on väreillä esitetty kuinka paljon kyseiselle rakennukselle määritetty ohjearvo ylittyisi ilman rataa toteutettavia runkomelunvaimennusratkaisuja. Mallinnuksen perusteella rataa vaadittavat vaimennusratkaisut on esitetty puolestaan ratalinjauksen päälle eri väreinä tarvittavan vaimennuksen perusteella. Rakennukset, joissa ohjearvon arvioidaan ylittyvän myös radan vaimennusratkaisujen kanssa, on kartoilla merkitty punaisella ympyröinnillä. Lisäksi kartoilla on esitetty kunkin linjauksen suunniteltu ratageometria sekä nykyisen rataverkon ratageometria. Suunnitelluista radan perustamistavoista on esitetty paalulaatat, kallionvaraiset osuudet sekä tunneliosuudet. Merkitsemättömät osuudet radasta ovat maanvaraisesti perustettavia. Kartoilla on lisäksi esitetty 20k maaperäkartta, tieverkostoa, karttanimistöä sekä ratakilometrejä.

Rakennusten runkomelu ilman runkomeluvaimennusta Alle ohjearvon 0–5 dB ylitys 5–10 dB ylitys 10–15 dB ylitys 15–20 dB ylitys 20–25 dB ylitys Yli 25 dB ylitys Rakennukset, joissa ohjearvo ylittyy vaadittavasta vaimennuksesta huolimatta	Rataan vaadittava runkomeluvaimennus Alle 3 dB 3–6 dB 6–9 dB 9–12 dB 12–15 dB 15–18 dB 18–21 dB 21–24 dB Yli 24 dB	Rata Suunniteltu ratageometria Olemassa oleva ratageometria Paalulaatta Kallionvarainen Tunneli	Maaperä Kallio Hiekkamoreeni Sora Hiekka Kiviä Karkea/hieno hietä Savi Liejuhiesu Turve Lieju Kartoittamaton/vesi
---	--	---	---

Kuva 7.1. Kuvakaappaus runkomelukartan karttaselitteestä.

7.1 Matkustajaliikenne

Matkustajaliikenteen tulokset on mallinnettu merkitsevällä ICE3-suurnopeusjunalla. Poikkeuksena tähän on K+-linjausvaihtoehdon Porvoon lähiliikenneaseman raide, jossa liikennöi ainoastaan Sm5-lähijunia.

7.1.1 Tärinä

Taulukossa 7.1. on esitetty matkustajajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman tärinänvaimennusta.

Taulukko 7.1. Matkustajajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman tärinänvaimennusta

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	0	0
SP, SE, AK	5+000–11+300	0	0
SP	11+300–26+500	4	<5
SE	11+300–26+500	4	13
AK	11+300–26+500	9	25
N	5+000–11+300	0	0
	11+300–26+500	6	8
NE	0-600–19+000	0	0
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	5	5
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	0	0
P	26+500–43+000	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0

LE, LP	43+000–51+000	1	5
LE	51+000–99+000	6	<5
LP	51+000–76+000	1	0
M	43+000–76+000	1	0
LP, M	76+000–98+000	1	0
TK	99+000–109+200	0	0
	109+200–110+400	2	<5

Taulukossa 7.2 on esitetty matkustajajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla, kun rataa on toteutettu tärinän vaimennusratkaisut.

Taulukko 7.2. Matkustajajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla tärinän vaimennusratkaisujen kanssa

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	0	0
SP, SE, AK	5+000–11+300	0	0
SP	11+300–26+500	4	<5
SE	11+300–26+500	4	13
AK	11+300–26+500	8	25
N	5+000–11+300	0	0
	11+300–26+500	5	5
NE	0+600–19+000	0	0
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	5	5
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	0	0
P	26+500–43+000	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0
LE, LP	43+000–51+000	1	5
LE	51+000–99+000	5	<5
LP	51+000–76+000	1	0
M	43+000–76+000	1	0
LP, M	76+000–98+000	1	0

TK	99+000–109+200	0	0
	109+200–110+400	2	<5

7.1.2 Runkomelu

Taulukossa 7.3 on esitetty matkustajajunaliikenteellä runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman runkomelunvaimennustoimenpiteitä.

Taulukko 7.3. Matkustajajunaliikenteellä runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman runkomelunvaimennusta

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	1755	12983
SP, SE, AK	5+000–11+300	413	2147
SP	11+300–26+500	36	71
SE	11+300–26+500	21	45
AK	11+300–26+500	38	88
N	5+000–11+300	297	1984
	11+300–26+500	52	163
NE	0-600–19+000	752	2598
	19+000–26+500	1	<5
K	26+500–43+000	30	43
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	20	59
P	26+500–43+000	360	1296
VP2	26+500–49+000	974	6753
VP3	26+500–43+000	789	5769
LE, LP	43+000–51+000	8	24
LE	51+000–99+000	31	30
LP	51+000–76+000	18	11
M	43+000–76+000	19	29
LP, M	76+000–98+000	8	7
TK	99+000–109+200	7	13
	109+200–110+400	4	5

Taulukossa 7.4 on esitetty matkustajajunaliikenteellä runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla, kun rataa on toteutettu runkomelun vaimennustoimenpiteet. Ohjearvon ylitykset tapahtuvat rakennuksissa, joissa tarvittava vaimennuksen on suurempi kuin teknistaloudellisesti soveltuvilla vaimennusratkaisulla voidaan saavuttaa. Käytännössä kyseiset rakennukset sijaitsevat hyvin lähellä ratalinjausta tai jäävät sen alle.

Taulukko 7.4. Matkustajajunaliikenteellä runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja runkomelulle altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla runkomelun vaimennusratkaisujen kanssa.

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	0	0
SP, SE, AK	5+000–11+300	0	0
SP	11+300–26+500	15	25
SE	11+300–26+500	8	19
AK	11+300–26+500	14	37
N	5+000–11+300	0	0
	11+300–26+500	17	28
NE	0-600–19+000	0	0
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	10	15
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	3	8
P	26+500–43+000	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0
LE, LP	43+000–51+000	2	10
LE	51+000–99+000	13	15
LP	51+000–76+000	4	<5
M	43+000–76+000	4	5
LP, M	76+000–98+000	3	<5
TK	99+000–109+200	1	<5
	109+200–110+400	0	0

7.2 Tavarajunaliikenne

7.2.1 Tärinä

Taulukossa 7.5 on esitetty tavarajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset, ja tärinälle altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman rataa tehtäviä tärinänvaimennusratkaisuja.

Taulukko 7.5. Tavarajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman tärinänvaimennusta

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	-	-
SP, SE, AK	5+000–11+300	-	-
SP	11+300–26+500	4	7
SE	11+300–26+500	5	13
AK	11+300–26+500	5	14
N	5+000–11+300	-	-
	11+300–26+500	15	21
NE	0-600–19+000	-	-
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	11	17
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	-	-
P	26+500–43+000	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0
LE, LP	43+000–51+000	1	5
LE	51+000–99+000	13	8
LP	51+000–76+000	3	0
M	43+000–76+000	2	<5
LP, M	76+000–98+000	2	0
TK	99+000–109+200	0	0
	109+200–110+400	9	13

Taulukossa 7.6 on esitetty tavarajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset, ja tärinälle altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla, kun tärinän vaimennustarpeet radassa

on otettu huomioon. Ohjearvon ylitykset tapahtuvat rakennuksissa, joissa tarvittava vaimennuksen on suurempi kuin teknistaloudellisesti soveltuvilla vaimennusratkaisuilla voidaan saavuttaa. Käytännössä kyseiset rakennukset sijaitsevat hyvin lähellä ratalinjausta tai jäävät sen alle.

Taulukko 7.6. Tavarajunaliikenteellä tärinän ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla tärinän vaimennusratkaisujen kanssa

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	-	-
SP, SE, AK	5+000–11+300	-	-
SP	11+300–26+500	2	<5
SE	11+300–26+500	4	13
AK	11+300–26+500	4	14
N	5+000–11+300	-	-
	11+300–26+500	12	11
NE	0-600–19+000	-	-
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	7	10
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	-	-
P	26+500–43+000	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0
LE, LP	43+000–51+000	1	5
LE	51+000–99+000	8	5
LP	51+000–76+000	3	0
M	43+000–76+000	1	0
LP, M	76+000–98+000	2	0
TK	99+000–109+200	0	0
	109+200–110+400	2	<5

7.2.2 Runkomelu

Taulukossa 7.7 on esitetty tavarajunaliikenteen runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman rataa toteutettavia runkomelun vaimennusratkaisuja.

Taulukko 7.7. Tavarajunaliikenteellä runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla ilman runkomelun vaimennusta

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	-	-
SP, SE, AK	5+000–11+300	-	-
SP	11+300–26+500	16	31
SE	11+300–26+500	11	19
AK	11+300–26+500	14	39
N	5+000–11+300	-	-
	11+300–26+500	44	92
NE	0-600–19+000	-	-
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	28	40
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	-	-
P	26+500–43+000	597	2363
VP2	26+500–49+000	1299	8985
VP3	26+500–43+000	1195	8662
LE, LP	43+000–51+000	6	22
LE	51+000–99+000	29	25
LP	51+000–76+000	14	7
M	43+000–76+000	14	24
LP, M	76+000–98+000	6	<5
TK	99+000–109+200	4	10
	109+200–110+400	4	5

Taulukossa 7.8 on esitetty tavarajunaliikenteen runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla, kun rataa on toteutettu tarvittavat runkomelun vaimennusratkaisut. Rakennukset, joissa runkomelun ohjearvo ylittyy vaimennustoimenpiteistä huolimatta, sijaitsevat erittäin lähellä rataa.

Taulukko 7.8. Tavarajunaliikenteellä runkomelun ohjearvon ylittävät rakennukset ja altistuvat asukkaat eri ratalinjauksilla runkomelun vaimennusratkaisujen kanssa.

Ratalinjaus	Km-väli	Ohjearvon ylittävät rakennukset [kpl]	Altistuvat asukkaat [kpl]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	-	-
SP, SE, AK	5+000–11+300	-	-
SP	11+300–26+500	6	13
SE	11+300–26+500	5	13
AK	11+300–26+500	4	14
N	5+000–11+300	-	-
	11+300–26+500	17	28
NE	0-600–19+000	-	-
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	12	16
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	-	-
P	26+500–43+000	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0
LE, LP	43+000–51+000	2	10
LE	51+000–99+000	9	10
LP	51+000–76+000	3	0
M	43+000–76+000	3	5
LP, M	76+000–98+000	3	<5
TK	99+000–109+200	0	0
	109+200–110+400	0	0

7.3 Tärinän vaimennustarve

Tärinän vaimennustarpeet radassa on esitetty raportin liitteiden tärinäkartoissa vaadittavana vaimennuksena prosentteina jokaiselle raiteelle kymmenen metrin jaolla. Vaimennustarve on laskettu niiden olemassa olevien rakennusten osalta, joissa tärinätaso ylittää rakennustyyppin ohjearvon.

Vaimennustarpeet esitetään kartoissa eri väreillä 25 %, 25–50 %, 50–75 % ja yli 75 % vaimennustasoina. Teknisiä ratkaisuja tärinän vaimennukseen ovat pohjainpölkyt,

stabilointirakenne ja paalulaatta, joiden arvioidut vaimennuskyvyt ja materiaalikustannukset on esitetty luvussa 6.3. Vaimennuksen tarvittavat määrät teknisinä vaimennusratkaisuinä on esitetty taulukossa 7.9 matkustajajunaliikenteelle ja taulukossa 7.10 tavaraajunaliikenteelle. Tärinän vaimennustarpeet määräytyvät suurimmaksi osaksi tavarajunaliikenteen vaikutuksesta.

Taulukko 7.9. Tärinän vaimennustarpeet eri ratalinjauksilla matkustajajunaliikenteelle radan metreinä.

Ratalinjaus	Km-väli	Pohjainpölkky [rd-m]	Stabilointirakenne [rd-m]	Paalulaatta [rd-m]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	0	0	0
SP, SE, AK	5+000–11+300	0	0	0
SP	11+300–26+500	20	20	0
SE	11+300–26+500	40	20	0
AK	11+300–26+500	40	100	0
N	5+000–11+300	0	0	0
	11+300–26+500	200	20	0
NE	0-600–19+000	0	0	0
	19+000–26+500	0	0	0
K	26+500–43+000	100	40	0
K+	0+500 (Itärata km 33+000)–3+990	0	0	0
P	26+500–43+000	0	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0	0
LE, LP	43+000–51+000	0	40	0
LE	51+000–99+000	100	40	0
LP	51+000–76+000	0	0	0
M	43+000–76+000	0	0	0
LP, M	76+000–98+000	0	0	0
TK	99+000–109+200	0	0	0
	109+200–110+400	80	60	0

Taulukko 7.10. Tärinän vaimennustarpeet eri ratalinjauksilla tavarajunaliikenteelle radan metreinä.

Ratalinjaus	Km-väli	Pohjainpölkky [rd-m]	Stabilointirakenne [rd-m]	Paalulaatta [rd-m]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	-	-	-
SP, SE, AK	5+000–11+300	-	-	-
SP	11+300–26+500	60	80	0
SE	11+300–26+500	120	140	0
AK	11+300–26+500	40	20	0
N	5+000–11+300	-	-	-
	11+300–26+500	500	500	0
NE	0-600–19+000	-	-	-
	19+000–26+500	0	0	0
K	26+500–43+000	400	320	0
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	-	-	-
P	26+500–43+000	0	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0	0
LE, LP	43+000–51+000	0	0	0
LE	51+000–99+000	220	240	0
LP	51+000–76+000	80	100	0
M	43+000–76+000	220	260	0
LP, M	76+000–98+000	80	60	0
TK	99+000–109+200	0	0	0
	109+200–110+400	300	560	580

Taulukossa 7.11 esitetty edellä esitettyjen tärinän vaimennustarpeiden määrien ja teknisten ratkaisujen arvioitujen kustannusten perusteella lasketut tärinän vaimennustoi-
menpiteiden kustannusarviot ratalinjauksittain.

Taulukko 7.11. Tärinän vaimennusratkaisujen kustannusarviot.

Ratalinjaus	Km-väli	Tärinän vaimennustoimen-	Tärinän vaimennustoimen-
		piteiden kustannus, matkustajajunaliikenne [€]	piteiden kustannus, tavarajunaliikenne [€]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	0	-
SP, SE, AK	5+000–11+300	0	-
SP	11+300–26+500	21 000	83 000
SE	11+300–26+500	22 000	146 000
AK	11+300–26+500	102 000	22 000
N	5+000–11+300	0	-
	11+300–26+500	30 000	525 000
NE	0-600–19+000	0	-
	19+000–26+500	0	0
K	26+500–43+000	45 000	340 000
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	0	-
P	26+500–43+000	0	0
VP2	26+500–49+000	0	0
VP3	26+500–43+000	0	0
LE, LP	43+000–51+000	40 000	0
LE	51+000–99+000	45 000	251 000
LP	51+000–76+000	0	104 000
M	43+000–76+000	0	271 000
LP, M	76+000–98+000	0	64 000
TK	99+000–109+200	0	0
	109+200–110+400	64 000	2 025 000

7.4 Runkomelun vaimennustarve

Runkomelun vaimennustarpeet on esitetty runkomelukartoissa vaadittavana vaimennuksena desibeleissä. Vaimennustarve on laskettu siten, että rakennusten arvioitu runkomelutaso ei ylitä rakennustyyppille määritettyä runkomelun ohjearvoa. Vaimennustarve on laskettu tilanteessa, jossa kaksi junaa kohtaa eli runkomelutaso on suurimmillaan.

Vaimennustarpeet on esitetty kartoissa eri väreillä 9 eri luokassa: alle 3 dB, 3–6 dB, 6–9 dB, 9–12, 12–15 dB, 15–18 dB, 18–21 dB, 21–24 dB ja yli 24 dB. Kustannusten

arviointia varten vaimennustarpeiden perusteella on määritetty alustavat tekniset ratkaisut, joilla eri suuruiset vaimennukset voidaan toteuttaa. Teknisiä ratkaisuja on runkomelun vaimennukseen mitoitettut pohjainpölkkyt ja sepelinalusmatot, joiden arvioitu vaimennuskyky ja materiaalikustannus on esitetty luvussa 6.4. Vaimennuksen tarvittavat määrät teknisinä ratkaisuinä on esitetty taulukossa 7.12 eri rataosuuksille avo- ja tunneliradoille matkusta junaliikenteelle ja taulukossa 7.13 tavarajunaliikenteelle. Runkomelun vaimennustarpeet kohdistuvat pääsääntöisesti samoille ratakilometreille matkustaja- ja tavarajunaliikenteellä.

Taulukko 7.12. Runkomelun vaimennustarpeet eri ratalinjauksilla matkustajajunaliikenteelle radan metreinä.

Ratalinjaus	Km-väli	Avorata			Tunnelirata		
		Pohjainpölkky 6 dB [rd-m]	Pohjainpölkky 12 dB [rd-m]	Sepelin- alusmatto, avorata 15 dB [rd-m]	Pohjainpölkky 12 dB [rd-m]	Sepelin- alusmatto 18 dB [rd-m]	Sepelin- alusmatto 24 dB [rd-m]
N, SP, SE, AK	-8+000– 5+000	-	-	-	4510	2920	11570
SP, SE, AK	5+000– 11+300	-	-	-	1460	1200	8500
SP	11+300– 26+500	1480	1960	2880	-	-	-
SE	11+300– 26+500	520	920	1640	-	-	-
AK	11+300– 26+500	1320	1500	3240	-	-	-
N	5+000– 11+300	60	40	0	1460	2880	6480
	11+300– 26+500	920	1320	2920	-	-	-
NE	0-600– 19+000	-	-	-	7860	5450	7350
	19+000– 26+500	40	0	0	-	-	-
K	26+500– 43+000	1120	1260	1900	-	-	-
K+	0+500 (Itä- rata km 33+000) – 3+990	440	380	420	-	-	-
P	26+500– 43+000	-	-	-	9500	6900	4340
VP2	26+500– 49+000	-	-	-	9640	16120	8060
VP3	26+500– 43+000	-	-	-	7880	10540	5760
LE, LP	43+000– 51+000	640	380	340	-	-	-
LE	51+000– 99+000	1880	2240	3080	-	-	-
LP	51+000– 76+000	1560	1180	840	-	-	-
M	43+000– 76+000	1260	1280	1180	260	120	140
LP, M	76+000– 98+000	420	460	880	-	-	-

TK	99+000– 109+200	440	660	120	-	-	-
	109+200– 110+400	400	200	60	-	-	-

Taulukko 7.13. Runkomelun vaimennustarpeet eri ratalinjauksilla tavarajunaliikenteelle radan metreinä.

Ratalinjaus	Km-väli	Avorata			Tunnelirata		
		Pohjain- pölkky 6 dB [rd-m]	Pohjain- pölkky 12 dB [rd-m]	Sepelin- alusmatto, avorata 15 dB [rd-m]	Pohjain- pölkky 12 dB [rd-m]	Sepelin- alusmatto 18 dB [rd-m]	Sepelin- alusmatto 24 dB [rd-m]
N, SP, SE, AK	-8+000– 5+000	-	-	-	-	-	-
SP, SE, AK	5+000– 11+300	-	-	-	-	-	-
SP	11+300– 26+500	920	640	660	-	-	-
SE	11+300– 26+500	340	480	680	-	-	-
AK	11+300– 26+500	320	640	800	-	-	-
N	5+000– 11+300	-	-	-	-	-	-
	11+300– 26+500	840	1100	2340	-	-	-
NE	0-600– 19+000	-	-	-	-	-	-
	19+000– 26+500	0	0	0	-	-	-
K	26+500– 43+000	1100	1120	2080	-	-	-
K+	0+500 (Itä- rata km 33+000) – 3+990	-	-	-	-	-	-
P	26+500– 43+000	-	-	-	7740	3780	11120
VP2	26+500– 49+000	-	-	-	7740	7460	19500
VP3	26+500– 43+000	-	-	-	6500	4520	14520
LE, LP	43+000– 51+000	400	140	260	-	-	-
LE	51+000– 99+000	1780	2240	1360	-	-	-
LP	51+000– 76+000	1100	580	420	-	-	-
M	43+000– 76+000	1000	660	580	200	0	0
LP, M	76+000– 98+000	340	520	540	-	-	-
TK	99+000– 109+200	560	320	0	-	-	-
	109+200– 110+400	380	280	100	-	-	-

Taulukossa 7.14 on esitetty edellä esitettyjen runkomelun vaimennustarpeiden määrien ja teknisten ratkaisujen arvioitujen kustannusten perusteella lasketut runkomelun vaimennustoimenpiteiden kustannusarviot ratalinjauksittain.

Taulukko 7.14. Runkomelun vaimennusratkaisujen kustannusarviot.

Ratalinjaus	Km-väli	Runkomelun vaimennus- toimenpiteiden kustannus, matkustajajunaliikenne	Runkomelun vaimennus- toimenpiteiden kustannus, tavarajunaliikenne
		[€]	[€]
N, SP, SE, AK	-8+000–5+000	4 134 500	-
SP, SE, AK	5+000–11+300	2 803 000	-
SP	11+300–26+500	616 000	189 000
SE	11+300–26+500	318 000	143 000
AK	11+300–26+500	627 000	168 000
N	5+000–11+300	2 454 000	-
	11+300–26+500	550 000	448 000
NE	0-600–19+000	3 415 500	-
	19+000–26+500	2 000	0
K	26+500–43+000	404 000	423 000
K+	0+500 (Itärata km 33+000) –3+990	104 000	-
P	26+500–43+000	2 812 000	4 290 000
VP2	26+500–49+000	5 318 000	7 356 000
VP3	26+500–43+000	3 703 000	5 359 000
LE, LP	43+000–51+000	102 000	66 000
LE	51+000–99+000	668 000	405 000
LP	51+000–76+000	263 000	147 000
M	43+000–76+000	377 000	180 000
LP, M	76+000–98+000	176 000	124 000
TK	99+000–109+200	73 000	44 000
	109+200–110+400	39 000	48 000

8 Loppupäätelmä ja jatkosuunnittelu

Tässä selvityksessä tarkasteltiin Itäradan alustavan yleissuunnitelman ratalinjausvaihtoehtojen tärinä- ja runkomeluvaikutuksia rakennuksiin. Linjausvaihtoehtojen tarkasteltiin erikseen matkustajaliikenteen ja tavarajunaliikenteen vaikutuksia. Selvityksessä

määritettiin tarvittavat tärinän ja runkomelun vaimennustarpeet, joilla rata voitaisiin toteuttaa niin, että tärinän ja runkomelun ohjearvojen arvioidaan alittuvan ratalinjausten vaikutusalueella olevissa rakennuksissa.

Määritetyillä tärinän ja runkomelun vaimennusratkaisuilla tärinän ja runkomelun ohjearvojen arvioidaan ylittävän ainoastaan avorataosuuksilla tilanteissa, joissa rakennukset sijaitsevat hyvin lähellä ratalinjausta eikä teknistaloudellisesti toteutuskelpoisia vaimennusratkaisuja ole käytettävissä. Näiden rakennusten osalta lunastus voi olla teknistaloudellisesti ainoa vaihtoehto ja todennäköisesti kyseisiä rakennuksia tultaisiin lunastamaan ratalinjauksen rata-alueen ja radan suoja-alueen sisäpuolelta joka tapauksessa.

Tässä selvityksessä esitettiin riittävät runkomeluvaimennukset, joilla ohjearvo alitetaan kaikissa rakennuksissa. Kuitenkin suurin riski hankkeelle tärinän ja runkomelun näkökulmasta on runkomelun vaimennusratkaisuilla saavutettavat vaimennustasot tunneliosuuksilla. Jos tässä esitettyihin runkomelun vaimennustavoitteisiin ei päästä, Keravan ja Porvoon tiheiden kaupunkirakenteiden alla kulkevista tunneleista voi aiheutua runkomelun ohjearvojen ylityksiä osassa rakennuksia. Jatkosuunnittelussa runkomelun vaimennusratkaisujen tutkimukset, mallinnukset ja koerakenteiden mittaukset tulevat kyseeseen, jotta voidaan varmistua onnistuneesta runkomelun vaimennuksesta.

Tarkentuvilla lähtötiedoilla on vaikutuksia arvioitujen runkomelun vaimennusratkaisujen määrään ja laatuun, koska tässä selvityksessä vaimennustarve perustuu oletukseen pahimmasta mahdollisesta tapauksesta. Todennäköisesti tarkentuvilla lähtötiedoilla muun muassa rakennusten perustamisesta ja maaperästä arvioidut runkomelutasot pienenevät ja riski runkomelun ohjearvojen ylittymiselle on pienempi. Yksityiskohtaisempien lähtötietojen avulla suunnittelua tarkennetaan tulevilla suunnitteluvaiheissa.

Junien todelliset nopeudet voivat olla paikoin suurempia kuin tässä käytetyt lähtötiedot. Laskennallisesti arvioituna suurimman sallitun nopeuden vaikutus runkomeluun on enimmillään noin 1 dB verrattuna 92 % ajoteholla simuloituihin arvoihin. Itäradalla voi tulla liikennöimään myös tässä arvioituja pidempiä tavarajunia. Tavarajunan pituutta ei ole tärinän tai runkomelun laskentamalleissa otettu huomioon erillisenä parametrina ja hieman pidemmän junan vaikutus tärinä- ja runkomelun vaimennustarpeisiin on vähäinen.

Jatkosuunnittelussa valittujen linjausvaihtoehtojen mallinnusten lähtötietoja tulee tarkentaa muun muassa maa- ja kallioperän ominaisuuksien, maakerrosten paksuuksien ja rakennusten perustamistapojen osalta. Lähtötietoja tulee tarkentaa kentällä tehtävillä mittauksilla, kun linjausvaihtoehdot on valittu. Maaperän leikkausaallonnopeus ja erityyppisten rakennusten kytkeytyminen kallio- tai maaperään värähtelyn kannalta, erityisesti tunneleiden kohdalla on syytä selvittää mittauksien avulla. Pehmeikköjen kohdalta tulisi tarkemmin selvittää pengervärähtelyn riskiä suurnopeusjunilla.

LIITTEET

1) Tärinäkartat, matkustajajuna

- A) Linjaus N,SP,SE,AK-SP,SE,AK-SP-K-LE,LP-LE-TK
- B) Linjaus SE-P-LE,LP-LP-LP,M
- C) Linjaus AK-VP2
- D) Linjaus N-VP3-M
- E) Linjaus NE
- F) Linjaus K+

2) Runkomelukartat, matkustajajuna

- A) Linjaus N,SP,SE,AK-SP,SE,AK-SP-K-LE,LP-LE-TK
- B) Linjaus SE-P-LE,LP-LP-LP,M
- C) Linjaus AK-VP2
- D) Linjaus N-VP3-M
- E) Linjaus NE
- F) Linjaus K+

3) Tärinäkartat, tavarajuna

- A) Linjaus N,SP,SE,AK-SP,SE,AK-SP-K-LE,LP-LE-TK
- B) Linjaus SE-P-LE,LP-LP-LP,M
- C) Linjaus AK-VP2
- D) Linjaus N-VP3-M
- E) Linjaus NE

- 4) Runkomelukartat, tavarajuna
- A) Linjaus N,SP,SE,AK-SP,SE,AK-SP-K-LE,LP-LE-TK
 - B) Linjaus SE-P-LE,LP-LP-LP,M
 - C) Linjaus AK-VP2
 - D) Linjaus N-VP3-M
 - E) Linjaus NE

LÄHTEET

AINS 1620260.6 (2023) Tampereen henkilöratapiha, eristysjatkosten mittaukset, 11.12.2023

AINS 15-1006.1 (2024a) Lentorata ja Itärata, lähtötietomittaukset, 3.12.2024

AINS 16-1306.1 (2024b) Espoon kaupunkirata, sepelinalusmattojen mittaukset, 6.11.2024

Akukon 083059-1 (2009) Sm5-junan tyypimittaukset ja Savion tunnelin tarkistusmittaukset. Raportti. Insinööritoimisto Akukon Oy 4.9.2009

Ali Zakeri, J., Esmaeili, M., & Heydari-Noghabi, H. (2016). A field investigation into the effect of under sleeper pads on the reduction of railway-induced ground-borne vibrations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(3), 999-1005.

Alsharo, A., Douier, K., Hussein, M., & Renno, J. (2023). A Measurement campaign to investigate the effect of using soft railpads on ground-borne vibrations from underground railways. *29th International Congress on Sound and Vibration*

Bewes, O. G., Jakielaszek, L. J., & Richardson, M. L. (2015). An assessment of the effectiveness of replacing slab track to control groundborne noise and vibration in buildings above an existing railway tunnel. In *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems: Proceedings of the 11th International Workshop on Railway Noise, Uddevalla, Sweden, 9–13 September 2013* (pp. 393-400). Springer Berlin Heidelberg.

Chen, Z., Xu, P., Zhang, H., Zeng, D., & Chen, Z. (2025). Mechanical Behavior of a Novel Rubber Floating Slab Track with Honeycomb Structure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 100172.

Cleave, R., Madshus, C., Grande, L., Brekke, A., & Rothschild, K. (2005). Mitigation of ground borne noise in rock railway tunnels-Part II: Full scale tests. In *Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields*.

Dashti, F. (2023). *A ground-borne noise prediction model for railway traffic in tunnels in bedrock*. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden).

Hakulinen, M. (1999). Rautatietärinän mittauskäytäntö Pohjoismaissa. *Ratahallintokeskuksen julkaisuja*. A 5/1999.

Heiland, D., & Mistler, M. (2013). Insertion loss of vibration mitigation systems-methods of free field measurements with soil correction. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 247, No. 7, pp. 1282-1291).

Huhtala, T., Ruohonen, M & Kylliäinen, M. (2017). Stabilointirakenne liikennetärinän torjuntakeinona. *Akustiikkapäivät 2021*. Turku, 24.–25.11., Akustinen Seura ry, s. 20–25.

Kehäradan kiintoraideselvitys (2008). Ratahallintokeskus. Rataverkko-osasto, Helsinki 2008, *Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 17/2008*

Kylliäinen, M. Tervo, S. ja Yli-Pietilä, A. (2022). *Talonrakentamisen akustiikka*. Tampereen yliopisto.

Lakušić, S., & Ahac, M. (2012). Rail traffic noise and vibration mitigation measures in urban areas. *Technical Gazette*, 19(2), 427-435.

Lakušić, S., Ahac, M., Haladin, I. (2010). Experimental investigation of railway track with under sleeper pad. In *Proceedings of the 10th Slovenian Road and Transportation Congress, Portoroz, Slovenia* (pp. 20-22).

Loy, H., Augustin, A., & Tschann, L. (2018). Reduction of vibration emissions and secondary airborne noise with under-sleeper pads—Effectiveness and experiences. In *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems: Proceedings of the 12th International Workshop on Railway Noise, 12-16 September 2016, Terrigal, Australia* (pp. 595-605).

Madshus C. & Kaynia, A.M., (2001) High-speed trains on soft ground: track-embankment-soil response and vibration generation, kirjassa Krylov, V. V. (Ed.). (2001). *Noise and vibration from high-speed trains*. Thomas Telford.

Müller, R. (2008). Mitigation measures for open lines against vibration and ground-borne noise: a Swiss overview. In *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems: Proceedings of the 9th International Workshop on Railway Noise, Munich, Germany, 4-8 September 2007* (pp. 264-270). Springer Berlin Heidelberg.

Nordström, J. (2023). Empirical prediction of ground-borne vibration from railway systems; validating the HS2 model in Sweden, west coast.

Ouakka, S., Verlinden, O., & Kouroussis, G. (2022). Railway ground vibration and mitigation measures: benchmarking of best practices. *Railway Engineering Science*, 30(1), 1-22.

Partanen, T. (2020), *Rautatien pengervärähtelyriskin arviointi ja mallintaminen*, Tampereen Yliopisto, 2020

Pelho, A., Luomala, H., Oksanen, B., Huhtala, T. ja Takala, M. (2023). Komposiitti- ja pohjainratapölkkyjen vaikutus liikennetärinään Pori-Mäntyluoto-rataosalla: Vuosien 2020 ja 2021 tärinä- ja ratarakenteen mittaukset. *Väyläviraston julkaisuja 17/2023*.

Peltonen, T., Backholm, M., Oy, I. A., & Oy, V. (2009). Raideliikenteen runkomelun mallintaminen ja arviointi. *Konferenssipaperi. Akustiikkapäivät*.

Quagliata, A., Ahearn, M., Boeker, E., Roof, C., Meister, L., & Singleton, H. (2018). *Transit noise and vibration impact assessment manual* (No. FTA Report No. 0123).

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20 Ympäristö ja rautatiealueet (2021), *Väyläviraston ohjeita 27/2021*

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11, Radan päällysrakenne. (2024) *Väyläviraston ohjeita 27/2024 v2*

Sehner, M., Valdés Nava, L. E., Seidl-Nigsch, M., & Loy, H. (2023). Vibration mitigation: under-ballast mats in heavy-haul applications. *Practice periodical on structural design and construction*, 28(4), 05023004.

SFS 5907. (2022) Rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus. Helsinki, *Suomen Standardisoimisliitto SFS ry*.

Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamista ja luokituksesta. Espoo, VTT Tiedotteita 2278.

Törnqvist, J. ja Talja, A. (2006). Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. Espoo, *VTT Working papers 50*.

Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. ja Halonen, M. (2008). Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi. Espoo, *VTT tiedotteita 2425*.

Talja, A. ja Saarinen, A. (2009). Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. Espoo, *VTT Tiedotteita 2468*.

Wettschureck, R. (1995). Körperschalldämmung im Eisenbahnoberbau mit zelligen PUR-Elastomeren-Neuere Ergebnisse zu ausgewählten

Anwendungen. *Schriftenreihe Des Instituts Fuer Strassenbau und Verkehrsplanung an Der Universität Innsbruck, (29).*