

Päivämäärä  
7.11.2025

# TURUN RAITIOTIE SELVITYS LIIKENTEEN AIHEUTTAMISTA TÄRINÄ- JA RUNKOMELUVAIKUTUKSISTA

## TURUN RAITIOTIE

### SELVITYS LIIKENTEEN AIHEUTTAMI STA TÄRINÄ- JA RUNKOMELUVAIKUTUKSISTA

Päivämäärä 07/11/2025  
Laatija Kirsi Koivisto  
Tarkastajat Jenni Karjalainen, Santeri Nykänen, Heini Ynnilä,  
Niko Korhonen  
Kuvaus Tärinä- ja runkomeluserivitys

## SISÄLTÖ

1.	TEHTÄVÄ.....	1
2.	LÄHTÖTI EDOT .....	1
3.	HANKKEEN JA KOHTEEN KUVAUS.....	2
3.1	KALUSTO, LIIKENNÖINTINOPEUDET JA RADAN PÄÄLLYSRAKENNE .....	3
3.2	MAAPERÄ JA POHJAVAHVISTUKSET .....	5
4.	TÄRINÄN JA RUNKOMELUN SUOSITUSARVOT .....	8
4.1	TÄRINÄN JA RUNKOMELUN SYNTYMINEN .....	8
4.2	IHMISTÄ HÄIRITSEVÄN TÄRINÄN JA RUNKOMELUN OHJEARVOT.....	9
4.3	RAKENNUSTEN JA RAKENTEIDEN VAURIOITUMISEN OHJEARVOT.....	10
4.3.1	<i>Yleistä</i> .....	10
4.3.2	<i>Rakennuksen herkkyys tärinälle</i> .....	10
4.3.3	<i>Ohjearvot</i> .....	10
5.	ARVIOINTIMENETELMÄT .....	12
5.1	TÄRINÄN LASKENTAMALLI .....	12
5.2	RUNKOMELUN LASKENTAMALLI .....	13
5.3	EPÄVARMUDET.....	14
6.	LIIKENTEESTÄ AIHEUTUVA TÄRINÄ.....	15
6.1	ASUMISMUKAVUUS .....	15
6.2	RAKENNUSTEN JA RAKENTEIDEN VAURIOITUMISALTTIUS .....	16
6.2.1	<i>Laskenta</i> .....	17
6.2.2	<i>Vaikutukset</i> .....	18
7.	LIIKENTEESTÄ AIHEUTUVA RUNKOMELU .....	19
8.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET .....	22
	LÄHDEVIITTEET .....	24

## LIITTEET

LIITE 1 Karttalehtijako

LIITE 2 Mallinnuksessa käytetyt maaperäkartat ja käytössä olleet pohjatutkimukset

LIITE 3 Raitiotien alle suunnitellut pääasialliset pohjavahvistukset kaduittain

LIITE 4 Tärinän asumismukavuuden vyöhykkeet raitiolinjalla

LIITE 5 Raitiolinjan runkomeluvyöhykkeet sekä runkomelun ohjearvot ylittävät rakennukset

## 1. TEHTÄVÄ

Turun Raitiotieallianssi on tehnyt selvityksen raitioliikenteen aiheuttamista tärinähaitoista Turun raitiotien linjauksella. Selvitys on tehty perustuen tärinän ja runkomelun laskennallisiin mallinnuksiin ilman vaimennusrakenteita. Tarvittavia suojaustoimenpiteitä on arvioitu tehtyjen mallinnusten pohjalta. Selvityksestä on vastannut allianssin osapuolena Ramboll Finland Oy.

Selvitys on toteutettu noudattaen seuraavia julkaisuja:

- SFS 5907: Rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus (SFS 2022)
- Tutkimusraportti VTT-R-04703-14: Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius (Talja & Törnqvist 2014)
- VTT Tiedotteita 2569: Ohjeita liikennetärinän arviointiin (Talja 2011)
- VTT Tiedotteita 2468: Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi (Talja & Saarinen 2009)
- VTT Working Papers 50: Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa (Törnqvist & Talja 2006)
- RIL 253-2024: Rakentamisen aiheuttamat tärinät (RIL 2024).

## 2. LÄHTÖTIEDOT

Selvitysalueelta on koottu olemassa oleva lähtöaineisto. Käytössä on ollut seuraava lähtöaineisto:

Arkeologia ja rakennukset:

- Turku, Hämeenkatu 16. Raitiotien suunnitteluhankkeen arkeologinen koekaivaus katualueella Hämeenkatu 16:n edustalla keväällä 2025. Muuritutkimus Oy 26.9.2025
- Turku, Uudenmaankatu. Raitiotien suunnitteluhankkeen arkeologinen koekaivaus Porthanin- ja Brahenpuiston välisellä katualueella keväällä 2025. Muuritutkimus Oy 26.9.2025
- Olemassa olevat rakennukset, OP1-OP5. Haettu allianssin tiedonhallintajärjestelmästä 22.5.2025
- Kartat - Nykyisten rakennusten perustamistapa ja maanalaisia rakenteita. Sataman, Keskustan ja Kupittaaan suunnittelualueet. Turun Raitiotie. Haettu allianssin tiedonhallintajärjestelmästä 8.5.2025
- Kartta – Koekaivaukset ja kivialot. Turun raitiotie. 7.5.2025
- Turku, Raitiotie pohjatutkimukset, Kairauksien arkeologinen valvonta 20.1.–24.2.2025
- Kartta arkeologisissa tutkimuksissa tehdyistä havainnoista OP2 alueella. Turun raitiotie. 7.2.2025
- Yleiskartta, suojellut rakennukset. Turun Raitiotie. 15.11.2024
- Raitiotien suunnitteluhankkeen arkeologinen koekaivaus marraskuussa 2024, Turku, Aninkaistenkatu 2. Muuritutkimus Oy 14.11.2024
- Turku. Suurtorin arkeologinen arvio – erityisesti kivirakennukset 2022. Muuritutkimus Oy 30.11.2022
- Turun raitiotiehanke – Arkeologinen selvitys. Muuritutkimus Oy 21.9.2022
- Kaupunkiarkeologiset tutkimukset 2010, Rothoviuksenkatu – Tuomiokirkonkatu, Turku. Turun maakuntamuseo 2010

Maaperätiedot:

- Maaperäkartta 1:20 000. Geologian tutkimuskeskus. Haettu 6.6.2025
- Pohjatutkimustiedot. Turun Raitiotie. Haettu allianssin tiedonhallintajärjestelmästä 6.6.2025
- Kartat - Saven syvyyskäyrät. Sataman, Keskustan ja Varikon suunnittelualueet. Turun Raitiotie. Haettu allianssin tiedonhallintajärjestelmästä 6.6.2025

Suunnitelmat ja suunnitelmaluonnokset:

- Raiteiden mittalinjat. Turun Raitiotie. Haettu allianssin tiedonhallintajärjestelmästä 10.7.2025
- Kartat – Pohjanvahvistussuunnitelma, luonnos. Sataman, Keskustan, Kupittaaan ja Varissuon suunnittelualueet. Turun Raitiotie. Haettu allianssin tiedonhallintajärjestelmästä 27.6.2025
- Katusuunnitelmat: katujen asemapiirustukset ja pituusleikkaukset. Turun raitiotie. Haettu allianssin tiedonhallintajärjestelmästä 6.6.2025

Muut:

- Kantakartat
  - Varikko 19.2.2025
  - Satama 19.2.2025
  - Keskusta 19.2.2025
  - Kupittaa 9.5.2025
  - Varissuo 15.8.2025
- Raitiotieliikenteen tärinävaikutusten arviointi, Turun Raitiotien yleissuunnitelma. WSP 24.5.2022
- Ohje - Turun raitiotiehen liittyvien meluselvitysten lähtötiedot. Turun raitiotie. 2.12.2024

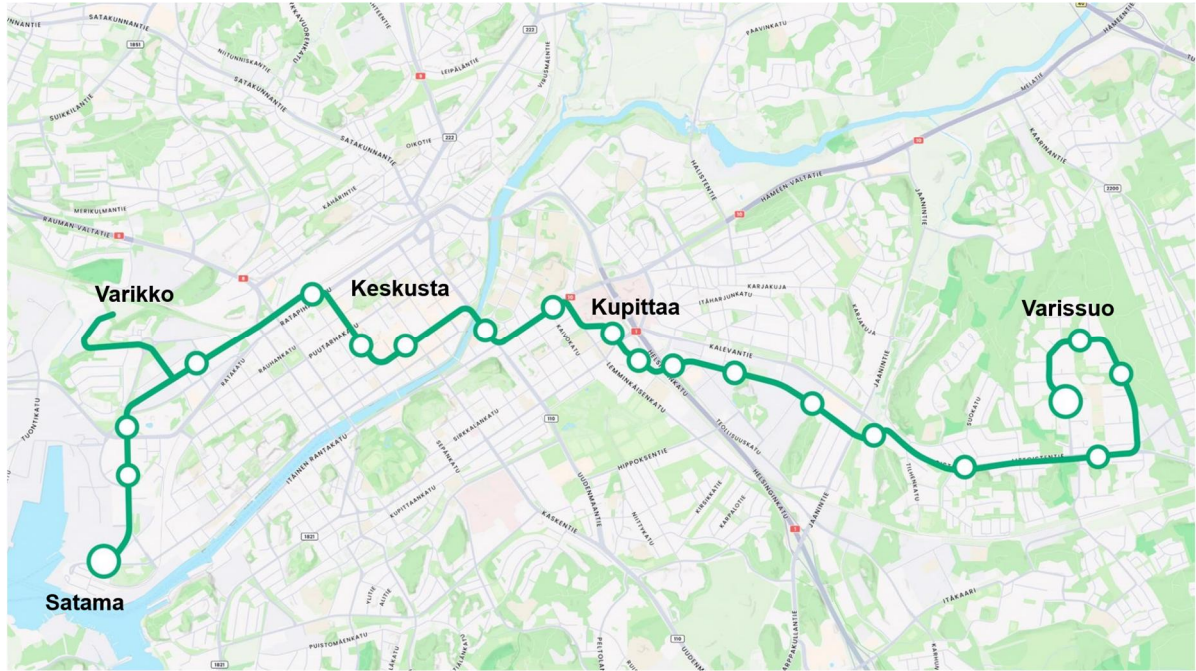
### 3. HANKKEEN JA KOHTEEN KUVAUS

Turun raitiotielinja kulkee tiheästi rakennetussa kaupunkiympäristössä. Linjan vaikutusalueen rakennuskanta muodostuu suurelta osin eri-ikäisistä asuinrakennuksista ja Turun keskustan alueella myös erilaisista julkisista ja historiallisista rakennuksista.

Hankkeen rataosuudet jakautuvat viiteen suunnittelualueeseen: Varikko, Satama, Keskusta, Kupittaa ja Varissuo. Varikon alue käsittää tulevan raitiovaunuvarikon. Sataman osuuteen sisältyvät varikolle johtavan ratahaara sekä satamasta Humalistonkadun alkuun ulottuva osuus. Keskustan osuus sijoittuu välille Humalistonkatu–Hämeenkatu, Kupittaaan osuus välille Kiinamyllynkatu–Kalervonkatu ja Varissuon osuus välille Västäräkin-  
katu–Suurpääänkatu.

Raitiotien linjaus ja pysäkit on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 1). Linjaus kulkee valtaosiltaan olemassa olevilla katualueilla, joilla nykyisellään on vilkas henkilöauto- ja bussiliikenne. Kadut ovat asfalttipäällysteisiä, mutta katurakenteiden nykykunto vaihtelee.

Raitiotielinja halkoo Turun keskiajan ja uudenajan alun kaupunkialuetta, joka muodostaa sekä muinaisjäännösalueen että osin valtakunnallisesti merkittävän arkeologisen alueen (VARK). Kohde on monin tavoin poikkeuksellinen. Alueen kulttuurikerrokset ovat hyvin säilyneitä ja poikkeuksellisen paksuja. Turku on Suomen ainoa keskiaikainen kaupunki, jossa oli jo tuohon aikaan muurattuja rakennuksia. Kaupunkiasutuksen vanhimpia kerroksia 1200-luvulta on löydettävissä juuri raitiotien linjauksen tuntumasta Uudenmaan-  
kadun ympäristöstä.



Kuva 1. Turun raitiotie. Raitiotien linjaus.

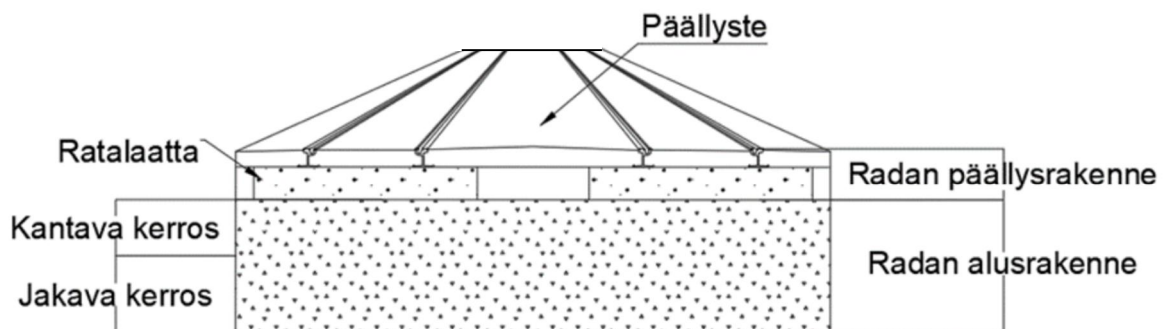
### 3.1 Kalusto, liikennöintinopeudet ja radan päällysrakenne

Turussa käytettäväksi suunnitellun raitiovaunukaluston pituus on 37 metriä. Vaunussa on todennäköisimmin 8 akselia ja mahdollisesti kääntyvät telit.

Muutoin raitiovaunun ominaisuuksien on tässä selvityksessä oletettu olevan pääosin samantyyppinen kuin Tampereella käytössä oleva Skoda Transtech ForCity Smart Artic X34 -raitiovaunu. Raitiovaunun bruttopainon arvioidaan olevan maksimissaan noin 80 tonnia maksimiakselipainon mukaan (8-akselia, maks. 10 tonnia / akseli). Turun raitiotien suunnitteluperusteissa vaunun suurin sallittu akselipaino on enintään 11 tonnia, mutta ko. painoerolla ei ole suurta merkitystä tässä selvityksessä käsiteltävien vaikutusten kannalta. Artic X34-vaunun taarapaino (omapaino) on 56,8 tonnia. Telin akseliväli on 1800 millimetriä.

Vaunujen suunnitellut nopeusrajoitukset vaihtelevat välillä 10–60 km/h (Taulukko 1).

Radan päällysrakennetyyppinä on kiintoraide (Kuva 2). Kiintoraiteessa ratapölkkyjen ja sepelin tilalla kiskoja tukevana rakenteena on betonilaatta, joka voidaan päällystää eri tavoin.



Kuva 2. Radan rakenne, kiintoraide.

Taulukko 1. Turun raitiotie. Raitiotien suunnittelunopeudet.

Suunnittelu-alue	Linja	Katu	Lisäselite	Radan paaluväli		Suunnittelunopeus (km/h)
				Oikea raide	Vasen raide	
Satama	Varikon haara (linja X)	Kiertotähdentie	kaarre	X 1115–1185	X 1130–1200	30
				X 1080–1115	X 1095–1130	20
		Kiertotähdentien – Revontulenkadun kaarre	kaarre	X 930–1080	X 950–1095	30
				X 880–930	X 890–950	20
		Revontulenkatu	Kiertotähdentie – Kanslerintie Kanslerintie – Iso-Heikkilän kiertoliittymä	X 140–815	X 150–830	30
		Kirstinpolku				
	Kirstinpuisto – Kirstinpolku, kaarre		X 0–140	X 0–150	15	
	Satama – Kauppatori (linja S)	Linnankatu	(Sataman päätepysäkki)	S 4010–4120	S 4025–4125	20
		Linnankadun – Satamankadun kaarre		S 3925–4010	S 3925–4025	25
		Satamakatu		S 3795–3925	S 3790–3925	40
		Satamakadun – Juhana Herttuan puistokadun kaarre		S 3730–3795	S 3730–3790	30
		Juhana Herttuan puistokatu		S 3365–3730	S 3360–3730	40
		Kolmen Katariinan bulevardi		S 2845–3365	S 2845–3360	30
		Vaasanpuisto	Kolmen Katariinan bulevardin – Ruissalontie Ruissalontien kaarre	S 2790–2845	S 2790–2845	17
				S 1880–2790	S 1880–2790	40
		Kirstinpuisto	Ruissalontie – Iso-Heikkiläntie	S 1880–2790	S 1880–2790	40
		Radanvarsi länsi	Iso-Heikkiläntie – Koulukatu Koulukatu – Ratapiha	S 1270–1880	S 1265–1880	60
				S 1190–1270	S 1190–1265	oik. 16 / vas. 15
		Radanvarsi itä	Käsityöläiskadun – Ratapihan kaarteet Käsityöläiskatu – Humalistonkatu	S 1120–1190	S 1125–1190	60
S 1070–1120				S 1075–1125	15	
Radanvarren – Humalistonkadun kaarre		S 1070–1120	S 1075–1125	15		
Humalistonkatu		S 430–1070	S 435–1075	30		
Humalistonkadun – Eerikinkadun kaarre		S 385–430	S 390–435	15		
Eerikinkatu	Humalistonkatu – Kauppatori	S 0–385	S 0–390	30		
Keskusta	Kauppatori – Aninkaistenkatu (linja A)	Eerikinkatu	Kauppatori – Aninkaistenkatu	A 0–365	A 0–370	30
		Eerikinkadun – Aninkaistenkadun kaarre		A 365–410	A 370–420	15
		Aninkaistenkatu – Uudenmaankatu		A 410–730	A 420–730	40
		Uudenmaankadun – Hämeenkadun kaarre		A 730–775	A 730–780	15
		Hämeenkatu		A 775–1315	A 780–1320	40
		Hämeenkadun – Kiinamylynkadun kaarre		A 1315–1365	A 1320–1365	15
Kupittaa	Kauppatori – Varissuo (linja A)	Kiinamylynkatu	Hämeenkatu – Lemminkäisenkatu Lemminkäisenkadun kaarre	A 1365–1510	A 1365–1520	30
				A 1510–1570	A 1520–1575	20
		Joukahaisenkatu	Lemminkäisenkatu – Joukahaisenkatu Kiinamylynkadun – Joukahaisenkadun kaarre	A 1570–1710	A 1575–1720	30
				A 1710–1745	A 1720–1750	15
		Joukahaisenkatu	Kiinamylynkatu – Turku Science Park Turku Science Parkin kaarre Turku Science Park – Rantarata	A 1745–2010	A 1750–2015	30
				A 2010–2080	A 2015–2085	25
				A 2080–2260	A 2085–2265	30
		Ilmattarenkatu (Kupittaa Kärki)	Rantaradan kaarre	A 2260–2330	A 2265–2335	20
Voimakatu	Ilmattarenkatu – Tuulitie	A 2330–2785	A 2335–2790	30		
Kalervonkatu		A 2785–3525	A 2790–3530	40		
		A 3525–3905	A 3530–3910	50		

Suunnittelu-alue	Linja	Katu	Lisäselite	Radan paaluväli		Suunnitelunopeus (km/h)	
				Oikea raide	Vasen raide		
Varissuo	Kauppatori – Varissuo(linja A)	Västäräkinkatu		A 3905–3980	A 3910–3980	30	
		Västäräkinkadun – Keltasirkunkadun kaarre		A 3980–4040	A 3980–4040	20	
		Keltasirkunkatu		A 4040–4110	A 4040–4115	30	
		Keltasirkunkadun – Littoistentien kaarre		A 4110–4180	A 4115–4180	20	
		Littoistentie	<i>Keltasirkunkatu – Satakielenkatu</i>	A 4180–4700	A 4180–4705	60	
			<i>Satakielenkatu – Laukkavuorenkatu, kaarre</i>	A 4700–4860	A 4705–4870	50	
			<i>Laukkavuorenkatu – Karvataskunkatu</i>	A 4860–6070	A 4870–6070	60	
		Littoistentien – Karvataskunkadun kaarre		A 6070–6120	A 6070–6120	15	
		Karvataskunkatu		A 6120–6970	A 6120–6960	40	
		Karvataskunkadun – Suurpääkadun kaarre		A 6970–7030	A 6960–7020	15	
		Suurpääkatu	<i>Karvataskunkatu – Rahkapääkatu</i>	A 7030–7280	A 7260–7260	40	
			<i>Rahkapääkadun kaarre</i>	A 7280–7340	A 7260–7330	25	
			<i>Rahkapääkatu – Konradinkuja</i>	A 7340–7460	A 7330–7440	40	
			<i>Konradinkujan kaarre</i>	A 7460–7520	A 7440–7500	25	
			<i>Konradinkuja – Napaturunkatu</i>	A 7520–7650	A 7500–7630	40	
			<i>Napaturunkadun kaarre</i>	A 7650–7690	A 7630–7685	oik. 15 / vas. 20	
			<i>Napaturunkatu – Kraatarinkatu</i>	A 7690–7815	A 7685–7760	40	
			<i>Kraatarinkadun vaihde</i>	A 7815–7835	A 7760–7815	20	
	<i>(Varissuon päätepyssäkki)</i>	A 7835–7896	A 7815–7875	40			
Varikko	Varikko			X0–120		10	
		Ympäryraide			X120–230		20
					X230–326		10
					X326–500		20
					X500–620		10
		Sivuraiteet H1–H3, S4–S10					10

### 3.2 Maaperä ja pohjavahvistukset

Rataosuuksien ja niiden lähialueiden maaperätiedot perustuvat hankkeen pohjatutkimuksiin sekä maaperäkarttoihin (GTK, 2025). Selvityksessä käytetyt pohjanvahvistustoimenpiteet perustuvat laadittuun toteutussuunnitelmaan.

Laskennassa käytettyä maaperäkarttaa (Kuva 3) on tarkennettu käytössä olleiden pohjatutkimustietojen perusteella raitiolinjan kohdalta ja sen lähialueelta. Käytössä olleet pohjatutkimukset on esitetty liitteen 2 maaperäkartoilla.

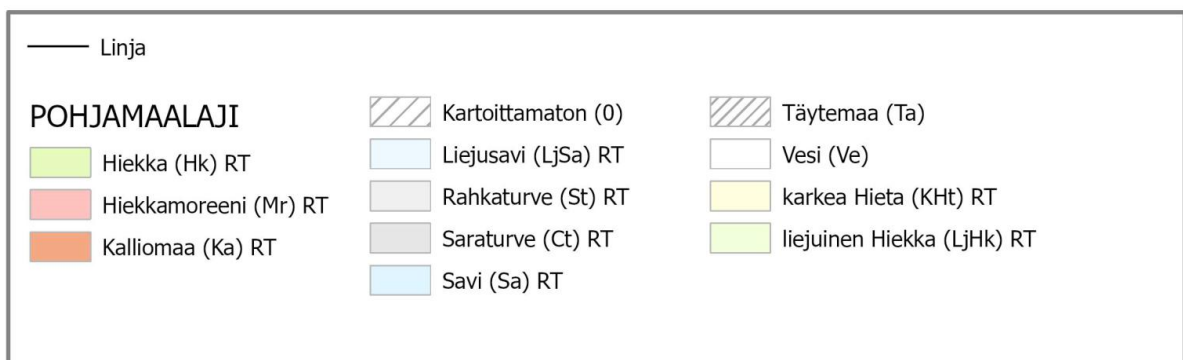
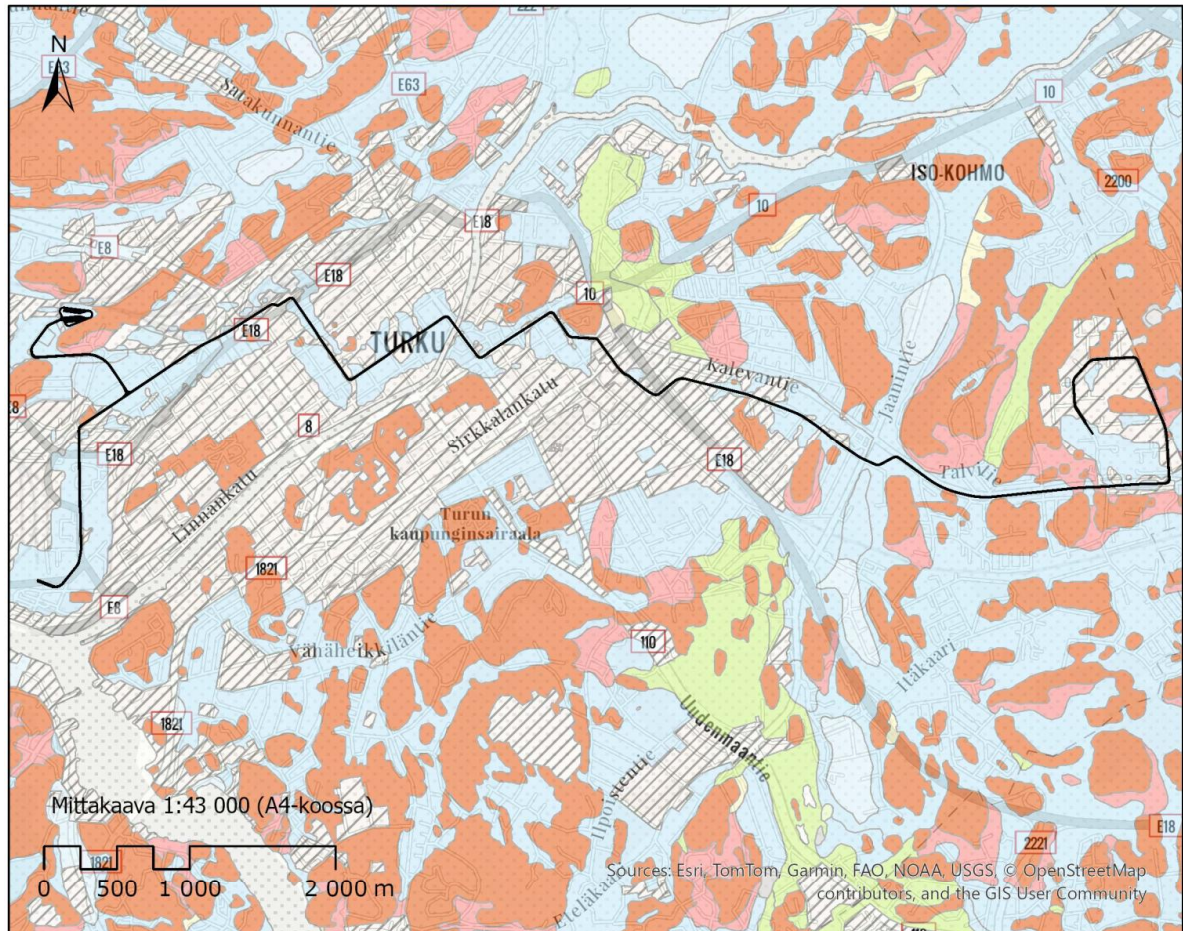
Sataman ja keskustan suunnittelualueilla raitiotie kulkee pääosin savikolla, jonka päällä on keskimäärin 1–2 m paksuinen täyttökerros. Kallionpinnan syvyys vaihtelee 5–57 m.

Kupittaalla raitiotie kulkee osin 1–3 m paksun täyttökerroksen päällä, jonka alla on vaihtelevasti kalliota, moreenimaita tai savea. Lännessä Voimakadulle tultaessa täytön alapuolinen maakerros muuttuu jälleen savikoksi.

Varissuon osuudella täyttökerroksen alapuolella on vaihtelevasti siltti- ja savikerroksia Västäräkinkadulta Karvataskunkadulle asti, minkä jälkeen maaperä muuttuu hiekka- ja moreenipohjaiseksi, Karvataskunkadulla alueen koilliskulmassa on myös kalliota. Suurpääkadun luoteiskulmassa hiekka- ja moreenikerrosten päällä alkaa jälleen olla ohuita

savi- tai silttikerroksia, jotka muuttuvat paksummaksi savikoksi Suurpääkadun eteläosaan tultaessa.

Raitiotien alle suunnitellut pääasialliset pohjavahvistukset on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 2) ja liitteessä 3. Sataman suunnittelualueelle esitetyt pohjavahvistusmenetelmät ovat paalulaatta ja massanvaihto. Keskustan alueelle on paalulaatan ja massanvaihdon lisäksi suunniteltu maanvaraista laattarakennetta. Kupittaaalla ja Varisuoilla pohjavahvistusmenetelminä ovat paalulaatta, massanvaihto ja pilaristabilointi.



Kuva 3. Turun raitiotie. Maaperäkartta tarkastelualueesta.

Taulukko 2. Turun raitiotie. Raitiotien alle suunnitellut pääasialliset pohjavahvistukset.

Suunnittelu- alue	Linja	Pohjavahvistus	Radan paaluväli		Pohjavahvistuksen pituus (m)	
			Oikea raide	Vasen raide	Oikea raide	Vasen raide
Satama	Varikon haara (linja X)	Paalulaatta	X 645-1185	X 650-1205	540	555
		Massanvaihto	X 605-645	X 610-650	40	40
		Massanvaihto	X 438-480	X 443-485	42	42
		Paalulaatta	X 0-438	X 0-443	438	443
	Satama – Kauppatori (linja S)	Paalulaatta	S 3015-4120	S 3010-4125	1105	1115
		Paalulaatta	S 2830-3000	S 2825-2995	170	170
		Massanvaihto	S 2810-2830	S 2810-2825	20	15
		Louhinta	S 2698-2810	S 2698-2810	112	112
		Massanvaihto	S 2650-2670	S 2650-2670	20	20
		Paalulaatta	S 1980-2650	S 1980-2650	670	670
		Massanvaihto	S 1955-1980	S 1955-1980	25	25
		Paalulaatta	S 1680-1930	S 1680-1930	250	250
		Paalulaatta	S 1530-1645	S 1530-1645	115	115
		Paalulaatta	S 1435-1495	S 1435-1495	60	60
		Paalulaatta	S 1225-1390	S 1230-1390	165	160
		Keskusta	Paalulaatta	S 815-1080	S 825-1085	265
Massanvaihto	S 795-815		S 805-825	20	20	
Paalulaatta	S 710-795		S 715-805	85	90	
Massanvaihto	S 635-710		S 645-715	75	70	
Paalulaatta	S 15-635		S 15-645	620	630	
Paalulaatta	A 30-415		A 30-425	385	395	
Maanvarainen laattarakenne	A 415-475		A 425-480	60	55	
Silta	A 475-535		A 480-525	60	45	
Maanvarainen laattarakenne	A 535-1055		A 525-1055	520	530	
Paalulaatta	A 1055-1375		A 1055-1380	320	325	
Kupittaa	Paalulaatan kaukalo	A 1375-1415	A 1380-1425	40	45	
	Massanvaihto	A 1415-1430	A 1425-1440	15	15	
	Massanvaihto	A 1465-1480	A 1475-1490	15	15	
	Paalulaatta	A 1480-1655	A 1490-1655	175	165	
	Massanvaihto	A 1650-1660	A 1655-1665	10	10	
	Massanvaihto	A 1675-1690	A 1675-1690	15	15	
	Louhinta	A 1705-1835	A 1710-1845	130	135	
	Louhinta	A 1905-2005	A 1915-2010	100	95	
	Massanvaihto	A 2005-2020	A 2010-2025	15	15	
	Paalulaatta	A 2020-2155	A 2025-2160	135	135	
	Pilaristabilointi	A 2460-2980	A 2460-2985	520	525	
	Pilaristabilointi	A 3060-3905	A 3065-3905	845	840	
	Varissuo	Pilaristabilointi	A 3905-3875	A 3905-3885	30	20
Paalulaatta		A 3905-4315	A 3900-4310	410	410	
Pilaristabilointi		A 4315-5425	A 4310-5430	1110	1120	
Paalulaatta		A 5485-5810	A 5490-5815	325	325	
Pilaristabilointi		A 5810-6245	A 5815-6240	435	425	
Massanvaihto		A 6405-6490	A 6400-6480	85	80	

Suunnittelu-alue	Linja	Pohjavahvistus	Radan paaluväli		Pohjavahvistuksen pituus (m)	
			Oikea raide	Vasen raide	Oikea raide	Vasen raide
Varikko	Varikko	Paalulaatta	X10–115	X62–110	105	48
		Pilaristabilointi	X115–495		380	
		Paalulaatta	X495–620		125	
		Pilaristabilointi-siirtymälaatta-maanvarainen-vahtolasimurskekevenny	Sivuraiteet H1–H3			
		Pilaristabilointi-siirtymälaatta-vahtolasimurskekevenny	Sivuraiteet S4–S10			

## 4. TÄRINÄN JA RUNKOMELUN SUOSITUSARVOT

### 4.1 Tärinän ja runkomelun syntyminen

Liikenne tuottaa ympäristöönsä värähtelyä, joka aiheutuu liikenteen dynaamisesta kuormasta sekä pyörien ja päällysrakenteen/kiskojen mahdollisista epätasaisuuksista. Värähtely etenee väylän rakennekerrosten kautta maa- ja kallioperään, josta se johtuu edelleen maaperän ja perustusten kautta rakennuksiin ja rakenteisiin. Värähtelyjen eteneminen ja johtuminen riippuu monesta osatekijästä ja on paikkariippuvaista. Eri osatekijät vaikuttavat sekä värähtelyn suuruuteen että taajuussisältöön. Värähtely voidaan havaita rakennuksissa runkomeluna tai tärinä.

Runkomelu on kuuloaistilla havaittavaa pientaajuista melua, joka syntyy rakennusrunkoon mahdollisesti johtuneesta korkeataajuisesta värähtelystä. Huonetilojen rajapinnoissa esiintyvä värähtely on niin pientä, ettei sitä aistita tuntoaistin välityksellä tärinä. Värähtelevät pintarakenteet säteilevät kuitenkin ääntä suurten kaiutinkalvojen tavoin, ja aiheuttavat tilaan korvin kuultavaa melua.

Runkomelu etenee tehokkaasti kallioperässä ja vaimenee pehmeissä maakerroksissa. Kalliovarainen tai ohuen murskekerroksen varaan tehty perustus johtaa runkomelua hyvin. Kallion ja perustuksen välinen paksumpi maakerros vaimentaa tehokkaasti runkomelua, joskin perustuksista kallioon asti ulottuvat paalut voivat jälleen edistää runkomelun johtumista.

Yleisimmin runkomelua esiintyy värähtelyn taajuusalueella 16–250 Hz. Runkomelu on laskennallisesti ja mittausteknisesti erittäin haastava arvioitava. Kaikkien melun syntymiseen vaikuttavien tekijöiden, syntymekanismista siirtotien kautta melua säteileviin rakenteisiin, on erittäin haastavaa arvioida tarkoin laskelmin. Mittaamalla äänitasoja ei mitattavasta tasosta pystytä erottamaan selkeästi runkomelusta aiheutuvaa osuutta, vaan mitattu äänitaso koostuu sekä ilmäänestä että runkoäänestä.

Ihmisen tuntoaistilla havaitsema tärinä on tavallisesti matalataajuisia. Tärinähaittoja esiintyy tyypillisesti pehmeikköalueilla liikenneväylien ympäristössä. Kallio- ja moreeni- maassa liikennetärinä vaimenee nopeasti eikä yleensä aiheuta haittoja.

Raideliikenne aiheuttaa tärinää tyypillisesti kolmella eri taajuusalueella. Kulkuneuvon akselit aiheuttavat liikkuvaa ”staattista painumaa” radalle, mikä synnyttää maahan aalto-liikettä. Aalto-liikkeiden taajuus on vaunun akseleiden ohitustaajuus eli raitiovaunun tapauksessa noin 4–10 Hz. Kyseisellä taajuusalueella tärinä voi vahvistua hienorakeisissa maapohjissa ja aiheuttaa vaakasuuntaista resonanssivärähtelyä 1–2 kerroksisen pientalon runkorakenteissa. Paksuilla pehmeiköillä matalataajuinen tärinä voi levitä huomattavan kauas radasta. Vaunun kaluston, ratapölkkyjen ja radan epäjatkuvuuskohtien vuorovaikutuksesta muodostuvat herätteet aiheuttavat taajuudeltaan noin 10–50 Hz tärinää. Tällä taajuusalueella tärinä voi vahvistua kiinteissä irtorakeisissa kitkamaapohjissa ja

aiheuttaa erityisesti rakennusten välipohjien pystysuuntaista värähtelyä. Vaunun pyörien ja kiskojen kontaktista taas syntyy taajuudeltaan 30–150 Hz tärinää, joka siirtyy helpoimmin tiiviissä maassa ja kalliossa ja kuullaan yleensä runkoäänenä rakennuksissa.

Merkittävin yksittäinen tekijä tärinän siirtymisessä rakenteisiin on herätetaajuuden sekä maapohjan ja rakenteiden ominaistajuuksien suhde (RIL 253-2024). Kun tärinälähteen taajuus ja maapohjan ja rakennuksen ominaistajuudet ovat samaa suuruusluokkaa, on tärinällä parhaat edellytykset siirtyä maaperän kautta rakennukseen. Tällöin myös rakennuksen ja rakenneosien resonanssivärähtely on mahdollinen.

#### 4.2 Ihmistä häiritsevän tärinän ja runkomelun ohjearvot

Ihmistä häiritsevän tärinän ja runkomelun ohjearvoina käytetään standardissa SFS 5907:2022 *Rakennusten akustinen suunnittelu ja luokitus* (SFS 2022) esitettyjä akustisen luokan A2 ohjearvoja, joka vastaa uudisrakennuksille asetettuja vaatimuksia. Runkomelun ohjearvot on esitetty erilaisille tiloille sekä tunneliliikenteen että avoradan osalta, joista tunneliliikenteen ohjearvo on 5 dB avoradan ohjearvoa pienempi. Standardissa esitettyjen ohjearvojen lisäksi liiketiloille voidaan soveltaa ohjearvona  $L_{prm}$  45 dB avoradan osalta (Talja & Saarinen, 2009). Runkomelun ja tärinän ohjearvot erilaisille rakennustyypeille on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 3).

Tärinän arvioinnissa ohjearvo esitetään tärinän tunnuslukuna, joka perustuu 95 % tilastollisella todennäköisyydellä toteutuvaan, ihmisen kokemuksen mukaan taajuuspainotettuun tehollisarvoon  $v_{w,95}$  (mm/s). Tehollisarvo, jossa yksittäiset huippuarvot tasoittuvat, kuvaa paremmin tärinän aiheuttamaa haittaa ihmisen häiriintymiselle kuin huippuarvo, joka soveltuu paremmin rakenteiden vaurioitumistarkasteluihin. Yleensä liikennetärinän taajuuspainotettu heilahdusnopeuden tehollisarvo on noin 50 % tärinän huippuarvosta.

Runkomelun tunnusluku  $L_{prm}$  on määritelty tilastollisesti siten, että 95 % mittaustuloksista alittaa kyseisen arvon.

Taulukko 3. Ihmistä häiritsevän runkomelun ja tärinän ohjearvot erilaisille rakennuksille.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso $L_{prm}$ (dB)	Tärinäarvo $v_{w,95}$ (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	-	-
Terveydenhuollon rakennukset: hoitotilat	35 / 40*	0,30
Terveydenhuollon rakennukset: potilashuoneet ym. herkät tilat	30 / 35*	0,30
Leikkaussalit, hammashoidon vastaanottotilat, lääketieteelliset kuvantamistilat	-	0,10

\* tunnelit / avoradat

### 4.3 Rakennusten ja rakenteiden vaurioitumisen ohjearvot

#### 4.3.1 Yleistä

Tärinän ohjearvo on raja, jota pienemmän värähtelyn ei katsota aiheuttavan vaurioita tai häiriötä. Ihmisten häiriintymiskynnys yleensä ylittyy merkittävästi pienemmillä värähtelyn arvoilla kuin millä rakenteiden vaurioriski alkaa kasvaa. Näin ollen pysyttäessä asuinviihtyvyyden kannalta sallituissa värähtelyrajoissa, ei rakennusten vaurioitumisriski ole yleensä merkitsevänä tekijänä tarkasteluissa.

Rakennusten ja rakenteiden vaurioitumiselle käytettävät ohjearvot ( $v_{max}$ ) perustuvat heilahdusnopeuden huippuarvoon, joka kuvaa parhaiten rakennusten vaurioriskiä.

Rakennusten ja rakenteiden vaurioitumisen ohjearvot eroavat luvussa 4.2 esitetyistä ihmisen häiriintymiselle annetuista ohjearvoista ( $v_{w,95}$ ), joille on mm. tehty taajuuspainotus siten, että arvot sopivat ihmisen havainnointikyvyn rajoihin.

Myöskään esimerkiksi herkkien laitteiden raja-arvoja ei yleensä voida suoraan verrata rakennusten vaurioitumisen ohjearvoihin, sillä herkillä laitteilla merkitsevänä suureena on yleensä heilahduskiihtyvyys heilahdusnopeuden sijaan.

#### 4.3.2 Rakennuksen herkkyys tärinälle

Rakennuksen tärinäherkkyys riippuu merkittävästi sen rakenteista ja mittasuhteista. Tavallisesti mitä jäykempi rakenne, sitä vähemmän rakennus reagoi tärinään. Yksikerroksisessa rakennuksessa resonanssi aiheuttaa ongelmia harvemmin kuin monikerroksisissa. Erityisen herkkiä resonanssille ovat 1,5- ja 2-kerroksiset rakennukset.

Rakennuksen perustaminen paaluille tavallisesti lisää rakenteen jäykkyyttä ja vähentää tärinäherkkyttä. On kuitenkin huomattava, että tilanteissa, joissa maaperän vaakasuuntainen tärinä on merkittävää, saattaa paalutus lisätä tärinää paalujen ottaessa vaakataärinän vastaan maaperässä ja siirtäessä sitä rakennuksen runkoon.

Puurakenteinen 1,5- tai 2-kerroksinen pientalo on tyypillisesti erittäin tärinäherkkä. Betonirakenteista yli 2-kerroksista kerrostaloa voidaan taas pitää ei-tärinäherkkänä, kunhan vältetään rungon ja lattian resonanssitaajuuksia, eikä rakennuksen ominaistaajuus osu maaperän kanssa samalle ominaistaajuudelle.

#### 4.3.3 Ohjearvot

Suomessa rakennusten rakenteille liikennetärinästä aiheutuvalle vaurioriskille käytetään yleisesti VTT:n tutkimusraportin R-04703-14 "*Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius*" ohjearvoja, mitkä perustuvat RIL 253-2024 "*Rakentamisen aiheuttamat tärinät*"-ohjeen ohjearvoihin.

Tutkimusraportin R-04703-14 mukainen ohjearvo  $v_{max}$  määritetään kertomalla värähtelyrajan perusarvo  $v_0$  rakennustapakertoimella  $F_k$ . Perusarvo riippuu maapohjasta alla olevan taulukon 4 mukaisesti. Kun tärinäkuormitus on pitkäkestoista, kuten on kyse liikennetärinän tapauksessa, ohjearvoa pienennetään 25 % (RIL 2024). Ohjearvo saadaan siis yhtälöllä:

$$v_{max} = v_0 \times F_k \times (1 - 25 \%)$$

#### *Tavanomaiset rakennukset ja rakenteet*

Tavanomaisilla rakennuksilla rakennustapakeroihin vaihtelee välillä 0,65–1,00, suurimmalla osalla näistä rakennustapakertoimen ollessa  $F_k = 1,00$ . Tällöin rakennuksen ohjearvoksi tärinän pitkäkestoisuus (-25 %) huomioiden saadaan:

- 3,75 mm/s (pehmeä savi)
- 5,25 mm/s (sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka)
- 7,50 mm/s (tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio)
- 9,00 mm/s (kiinteä kallio).

### Historialliset rakennukset ja rakenteet

Historiallisille rakennuksille tai rakenteille ei ole yleisesti omaa ohjeistoa. Liikennetärinän osalta historiallisissa rakennuksissa esiintyvälle tärinälle käytetään VTT:n tutkimusraportissa R-04703-14 (Törnqvist & Talja 2014) esitettyjä RIL 253-2024:een perustuvia tärinän ohjearvoja.

Tässä selvityksessä historiallisten rakennusten ja rakenteiden ohjearvo on määritetty lähtökohtaisesti em. VTT:n tutkimusraportin rakenneluokan 5 pohjalta, johon sisältyvät vanhat tärinäherkät tai vaurioherkkää materiaalia sisältävät rakennukset, joiden rakennustapakero  $F_k = 0,65$ . (Mikäli rakenne on hyvin tärinää kestävä esim. kivimuuri, rakennustapakertoimena voidaan käyttää myös  $F_k=1,00$ .)

Tällöin historiallisille rakennuksille ja rakenteille saadaan taulukosta 4 rakennustapakero  $F_k = 0,65$  ja tärinän pitkäkestoisuus (-25 %) huomioiden:

- 2,44 mm/s (pehmeä savi)
- 3,41 mm/s (sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka)
- 4,88 mm/s (tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio)
- 5,85 mm/s (kiinteä kallio).

Taulukko 4. Värähtelyn perusarvo perustuksessa erilaisille maa- ja kalliopohjille perustetuille rakennuksille (Talja & Törnqvist 2014).

	Pehmeä savi, leikkauslujuus < 25 kN/m <sup>2</sup>	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka	Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio	Kiinteä kallio
Värähtelyn perusarvo $v_0$	5	7	10	12
Värähtelyssä hallitseva taajuus	alle 10 Hz	10–20 Hz	20–50 Hz	yli 50 Hz

## 5. ARVIOINTIMENETELMÄT

Raitiotien tärinätaasoja maaperässä ja rakennuksissa on arvioitu laskentamallilla, joka pohjautuu VTT:n tutkimusraportissa VTT-R-04703-14 esitettyyn laskentamalliin (Törnqvist & Talja 2014). Laskentamalli arvioi pystysuuntaisen  $W_m$ -painotetun värähtelytason maaperässä kaavalla

### 5.1 Tärinän laskentamalli

Tärinän laskentamalli pohjautuu *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* -julkaisussa esitettyyn laskentamalliin (Törnqvist & Talja, 2006). Laskentamalli arvioi pystysuuntaisen  $W_m$ -painotetun värähtelytason maaperässä kaavalla:

$$v_{z,wm} = v_{vm,15} \cdot k_D \cdot k_S \cdot k_G \cdot k_R \cdot F$$

Laskentamallin muuttujat ovat:

- pystysuora vertailuvärähtelynopeus etäisyydellä  $D_0$  raiteen keskilinjasta  $v_{vm,15}$
- etäisyyskerroin  $k_D$ . Värähtelyn vaimeneminen riippuu maalajin ominaisuuksista.
  - $k_D = \left(\frac{D_0}{D}\right)^B$ , missä  $D_0$  on tavallisesti 15 m ja etäisyyskesponentti  $B$ :n arvo riippuu maalajista. Etäisyyskesponentti kuvaa sitä, kuinka nopeasti tärinä vaimenee etäisyyden suhteen; mitä suurempi eksponentti on, sitä nopeammin tärinä vaimenee.
- nopeudesta riippuva kerroin  $k_S$ .
  - $k_S = \left(\frac{S}{S_0}\right)^A$
  - $S$  on tarkasteltava nopeus, jonka perusarvo  $S_0$  on 70 km/h.
  - $A$  on nopeuskesponentti, jonka arvo on 0,9–1,1.
  - Matalilla nopeuksilla heilahdusnopeuden on havaittu olevan useimmiten nopeudesta riippumaton. Alle 70 km/h nopeuksissa nopeuskerrointa ei suositella käytettäväksi, jolloin asetetaan  $k_S = 1$ . (Törnqvist & Talja, 2006) Tässä selvityksessä nopeuskerroin on aina yksi.
- painosta riippuva kerroin  $k_G$ 
  - $k_G = \left(\frac{G}{G_0}\right)$
  - $G$  on tarkasteltavan raitiovaunun kokonaispaino (80 tonnia), vertailupaino  $G_0$  on kaavassa tavallisesti 2000 tonnia. Tässä tarkastelussa laskentaa on kalibroitu käyttäen Tampereen raitiotiellä tehtyjä tärinämittauksia, joten vertailupainona on käytetty Tampereen raitiovaunun kokonaispainoa (80 tonnia).
- radan kunnosta riippuva kerroin  $k_R$ . Uusilla radoilla voidaan käyttää arvoa  $k_R = 0,7$
- varmuuskerroin  $F$ . Kohteessa tehdyillä tärinämittauksilla kalibroidussa yhtälössä arvo on 1 ja ilman kalibrointia 2. Koska perusyhtälöä on tässä kalibroitu Tampereen raitiotien tärinämittauksilla, varmuuskertoimen arvoksi on valittu  $F = 1,5$ .

Mallinnuksessa käytetyt arvot on kalibroitu Tampereen raitiotieltä tehtyjen mittausten perusteella (AFRY 2021) vastaamaan mahdollisimman hyvin vastaavia maaperäolosuhteita Turussa.

Tärinän vaimentuminen radalta rakennukseen päin on laskettu rakennuksen ja radan välillä sijaitsevien maalajien perusteella.

Pohjavahvistetut alueet on tarkastelussa mallinnettu vastaamaan laskennassa käytettyjä maalajityyppejä seuraavassa taulukossa esitetyn mukaisesti (Taulukko 5):

Taulukko 5. Pohjavahvistusmenetelmiä vastaavat maalajityypit tärinälaskennassa.

Pohjavahvistusmenetelmä	Vastaava maaperätyyppi, tärinämallinnus
Geolujite	ei vaikutusta (alkuperäinen maalaji)
Louhinta	kallio
Massanvaihto	karkearakeinen maa
Paalulaatta/paalulaatan kaukalo	karkearakeinen maa
Pilaristabilointi	karkearakeinen maa
Siirtymälaatta/maanvarainen laatta	välimalaj
Vahtolasikevennys	välimalaj

Rakennuksissa esiintyvä tärinä on arvioitu maaperän pystysuuntaisesta  $W_m$  -painotetusta värähtelytasosta. Maaperästä rakennuksen perustuksiin siirtyminen on arvioitu kertoimella (Talja et al., 2008)

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

jossa värähtelyn merkitsevä taajuus  $f$  on arvioitu maalajiluokan perusteella.

Tärinä voi ilmetä rakennuksessa esitettyä lukuarvoa vielä suurempana, mikäli rakennuksen resonanssit vahvistavat värähtelyä. Rakennuksen pohjakerroksen yläpuolisissa rakenteissa rungon resonanssi voi voimistaa tärinätasoa 1–10 kertaiseksi. Rakennuksen resonanssin vaikutuksen arviointi on käytettävissä olevilla lähtötiedoilla ollut epävarmaa, eikä sitä sen suuren epävarmuuden vuoksi ole sisällytetty käytettyyn 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:

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

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 103 dB,  $B$  on 14 dB,  $C$  on 0,8 dB ja referenssietäisyys  $d_{ref}$  10 m.

Lopullinen runkomelun äänitaso on laskettu etäisyysvaimennuksen  $L(d)$  ja korjaustermien  $\Delta L_i$  summana (Talja & Saarinen, 2009):

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

Laskenta on suoritettu seuraavilla korjaustermeillä:

- liikennetyyppi
  - raitiovaunu: 0 dB
- raitiovaunun nopeuden vaikutus
  - arvioidaan kaavalla  $\Delta L_v = 20 \log_{10}(v/v_{ref})$ , missä  $v$  on vaunun nopeus ja  $v_{ref}$  on referenssinopeus. Referenssinopeus on 100 km/h.

- ajoneuvon ominaisuuksista riippuvat tekijät
  - normaali jousitus: 0 dB
- väylän kunto
  - jyrkkien kaarteiden (kaarresäde < 50 m), vaihteiden kohdalla radan epä-jatkuvuuskohtasta johtuva korjaustekijä: +10 dB
- radan eristämistapa
  - ei eristystä: 0 dB
- väylän sijainti
  - avorata: 0 dB
- rakennuksen tyyppi ja tarkasteltava asuinkerros
  - tarkastelut on tehty vaarallisimmat tilanteen mukaan, eli olettaen rakennukset perustetun kallionvaraisesti, korjaustekijä: 0 dB
  - tarkasteltava asuinkerros: 0 dB (rakennuksen pohjakerros)
- rakenneosien resonanssi
  - resonanssia ei ole huomioitu: 0 dB
- muunto äänenpainetasoksi: -28 dB
- muunto A-painotetuksi äänenpainetasoksi
  - matala taajuusalue
    - pehmeät savi-, siltti- ja hiekkamaat, kun maakerroksen paksuus raitiotien ja rakennuksen alla on yli 3 m: -50 dB
  - keskitaajuusalue
    - kovat savi-, siltti- ja moreenimaat, kun maakerroksen paksuus väylän ja rakennuksen alla on yli 3 m: -35 dB
    - sovelletaan lisäksi alueilla, joilla pohjanvahvistuksia (myös paalulaatat)
  - korkea taajuusalue
    - kallio ja iskostuneet moreenimaat, kun maakerroksen paksuus väylän ja rakennuksen alla on alle 3 m: -20 dB
- varmuusmarginaali: + 6 dB.

Pohjavahvistetut alueet on tarkastelussa mallinnettu vastaamaan laskennassa käytettyjä maalajityyppejä seuraavassa taulukossa esitetyn mukaisesti (Taulukko 6):

Taulukko 6. Pohjavahvistusmenetelmiä vastaavat maalajityypit runkomelulaskennassa.

Pohjavahvistusmenetelmä	Vastaava maaperätyyppi, runkomelumallinnus
Geolujite	ei vaikutusta (alkuperäinen maalaji)
Louhintä	Kallio
Massanvaihto	kova maa
Paalulaatta/paalulaatan kaukalo	kallio
Pilaristabilointi	kova maa
Siirtymälaatta/maanvarainen laatta	kova maa
Vaahtolasikevennys	kova maa

### 5.3 Epävarmuudet

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

Esimerkiksi vaihteet ja muut radan epäjatkuvuuskohdat, vinot kalliopinnat ja suuret lohkarieet voivat aikaansaada heijasteita ja värähtelyn paikallista voimistumista.

Maaperän ominaisuudet voivat mallissa poiketa hyvinkin paljon todellisista ominaisuuksista, sillä maaperän tutkiminen niin tarkasti, ettei laskennassa olisi lainkaan epävarmuuksia, ei ole teknistaloudellisesti mahdollista. Värähtelyn vaimeneminen etäisyyden kasvaessa on suuresti riippuvainen maaperäolosuhteista. Suuremmilla etäisyyksillä arvioinnin epävarmuus kasvaa, erityisesti vaihtuvilla maalajeilla.

Radan ja tarkasteltavan kohteen väliin jäävien muiden rakennusten tai rakenteiden värähtelyä vaimentavaa vaikutusta ei voida laskentamallilla luotettavasti arvioida.

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

## 6. LIIKENTEESTÄ AIHEUTUVA TÄRINÄ

### 6.1 Asumismukavuus

Laskenta suoritetaan neljälle erilaiselle jäykkyydeltään ja rakeisuudeltaan toisistaan poikkeavalle maalajille: liejuiselle savelle, savi- ja silttimaalle, siltti- ja hiekkamaalle sekä moreenille. Alla esitetään värähtelyn tunnusluvut  $v_{w,95}$  kullekin maalajille etäisyyden funktiona (Kuva 4).

Raitiotiereitille suunnitellut pohjanvahvistukset on huomioitu mallinnuksessa siten, että raitiotie tulkitaan vahvistettavilla osuuksilla perustetun taulukossa 5 esitetyn mukaiselle maaperälle.

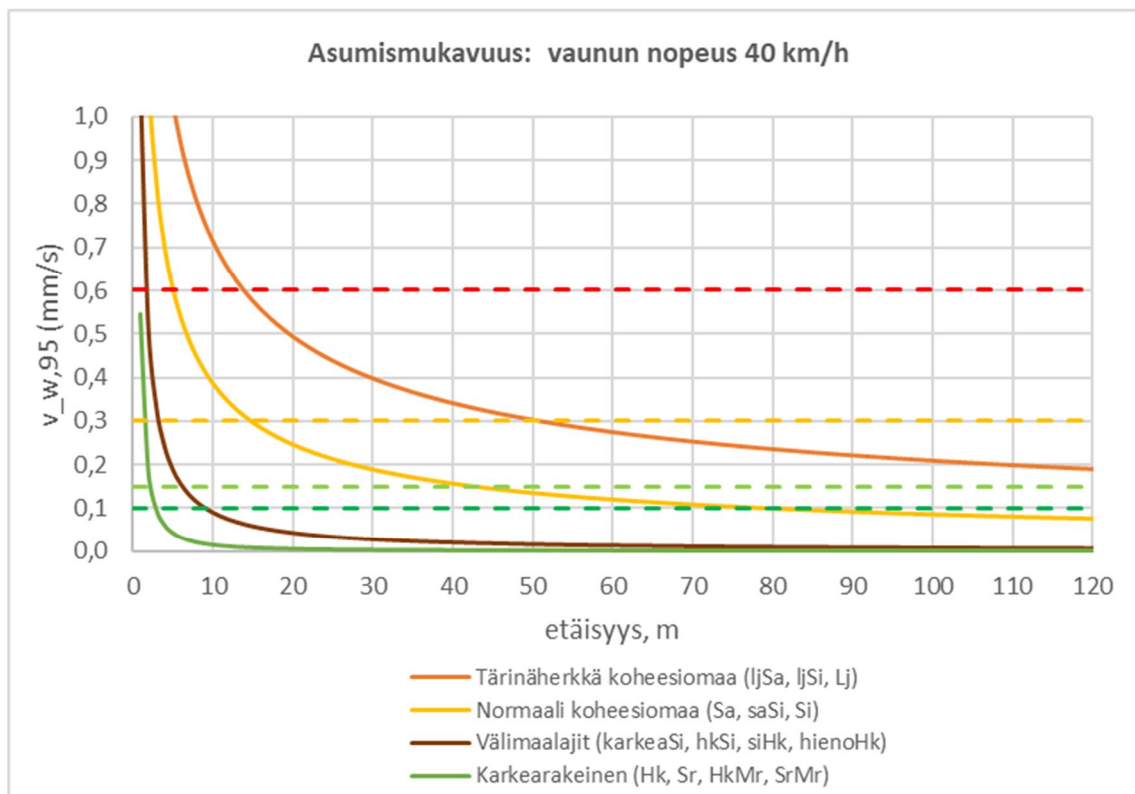
Huolimatta raitiotielinjauksen varrella olevista laajoistakin pehmeikköalueista, tärinän taso jää likimain koko tarkastelulinjan matkalta niin matalaksi, että yli  $v_{w,95} = 0,3$  mm/s suuruista tärinää ei muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta esiinny katualueiden ulkopuolella. Tämä johtuu linjan alle suunniteltujen pohjanvahvistus- ja perustamistapamien tärinää vaimentavasta vaikutuksesta, alueella nykyisellään olevista täytöistä sekä tiheimmällä kaupunkialueella käytetyistä matalista ajonopeuksista.

Alueita, joilla tärinän taso merkittävästi katualueen ulkopuolella ylittää  $v_{w,95} = 0,3$  mm/s ovat linjaosuudella Asemanaukiolla paaluvälillä S 1100–1200, Itäharjulla Jaanintien risteyskohdassa A 3870–3920 sekä Varissuolla Erik Jämsän puiston luoteiskulma paaluvälillä A 5400–5450. Varikon ratahaaralla tällainen osuus on Revontulenkadun itäosa paaluvälillä X 480–620

Tärinämallinnuksen tulokset on esitetty karttalehdillä raportin liitteessä 4. Rakennusten tärinätasot on esitetty kartoilla tilanteessa, jossa rataan ei ole toteutettu vaimennustoimenpiteitä.

Tarkastelun perusteella tärinäsuojaukselle ei asumismukavuuden kannalta ole tarvetta raitiotien suunnitellulla linjauksella, sillä millään alueella ei lasketuille tärinävyöhykkeille sijoitu sellaisia rakennuksia, joissa tärinävaatimukset ylittyisivät.

Kuten kohdassa 5.3 todetaan, tarkasteluun liittyy epävarmuutta. Siitä aiheutuvat riskit katsotaan tässä selvityksessä kuitenkin asumismukavuuden kannalta pääosin vähäisiksi johtuen tärinää vaimentavista raitiotien pohjanvahvistustoimenpiteistä. Lisäksi runkome-luvaimennetuilla raitiotien osuuksilla eristysratkaisu vaimentaa tyypillisesti jossain määrin myös tärinää.



Kuva 4. Turun raitiotie. Laskennalliset värähtelyn tunnusluvut  $v_{w,95}$  etäisyyden funktiona eri maaperissä, kalibroitu Tampereen raitiotien mittausten pohjalta.

## 6.2 Rakennusten ja rakenteiden vaurioitumisalttius

Raitiotien yleissuunnitelmassa todetaan, että 1700-lukua vanhemmat muuratut rakennukset ja niihin liittyvät rakenteet säilytettävä. Säilytettävät rakenteet konservoidaan ja suojataan ennen kuin kaivannot täytetään vaahtolasilla raitiotien alle. Käytännössä rakenteiden säilymisolosuhteita parannetaan suhteessa nykytilanteeseen.

Sekä historiallisen ajan arkeologiset rakennuskohteet että osa nykyisestä rakennuskannasta on perustettu maanvaraisesti. Nykyiset rakennukset Vanhan Suurtorin ympäristössä ja Uudenmaankadun-Hämeenkadun risteysalueella hyödyntävät perustuksissaan arkeologisia kohteita, eli ennen Turun paloa 1827 paikalla sijainneiden rakennusten kellarikerroksia ja perustuksia. Ne tiedetään erittäin huonokuntoisiksi.

Maanalaisista arkeologisista kohteista keskiaikaiset muuratut rakennukset on perustettu hirsiarinan päälle. Ne ovat paikoitellen hyvin syvällä nykyisestä katupinnasta laskien, jopa neljän metrin syvyydessä ja paikoin lähellä pintaa alle metrin syvyydessä. Arinat on kaivettu luontaiseen pohjasaveen ja ne ovat säilyneet kosteissa olosuhteissa. Rakennusten perustus tehtiin näiden, rakennusten vajoamista estävien hirsiarinoitten päälle.

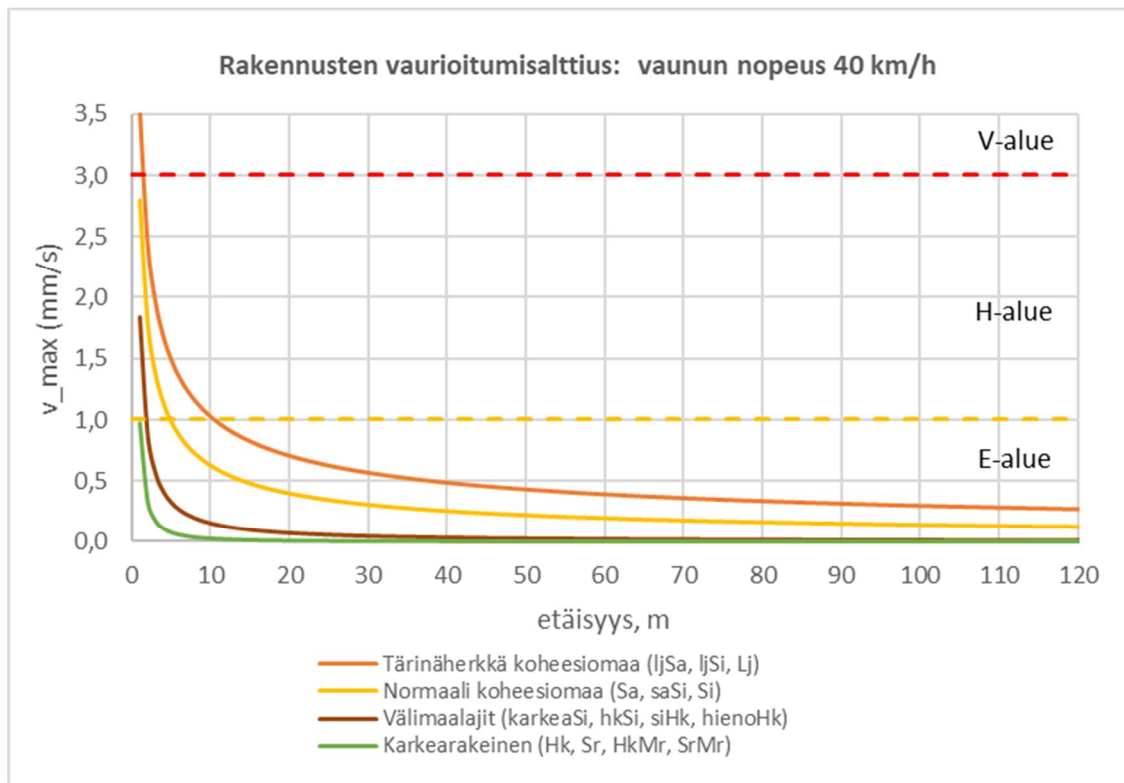
Myöhemmin rakennusten puuarinoiden kaivamisesta syvälle luontaiseen pohjasaveen luovuttiin, ja ne perustettiin lähelle silloista maan pinnan tasoa. Lähempänä nykyistä maan pinnan tasoa sijaitsevat puurakenteina ne ovat herkempiä maaperässä tapahtuville muutoksille ja lähtökohtaisesti huonompikuntoisempia kuin vanhemmat, syvemmällä sijaitsevat hirsiarinat.

### 6.2.1 Laskenta

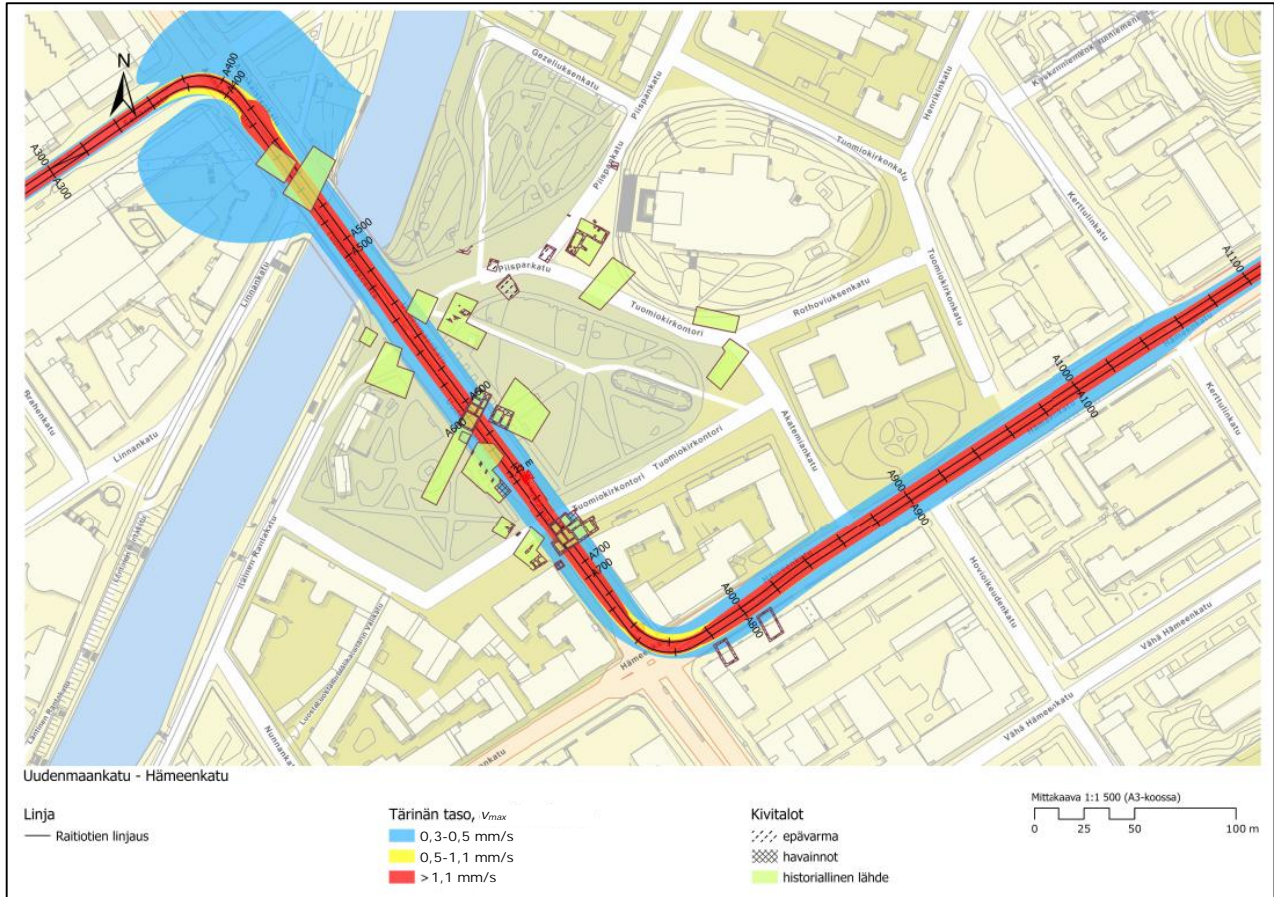
Rakennusten ja rakenneosien vaurioitumisalttiuden tärinäanalyysin laskennassa esitetään heilahdusnopeuden huippuarvot  $v_{max}$  eri maaperätyypeille etäisyyden funktiona (Kuva 5).

Raitiolinjalle Uudenmaankadun–Hämeenkadun alueella lasketut tärinävyöhykkeet on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 6). Perustusten  $v_{max} = 3,75$  mm/s ohjearvon vyöhykkeen etäisyys ratalinjasta on alle 1 m, eikä niin kapean vyöhykkeen laskemista karttatasolle katsottu mielekkääksi, joten tästä syystä kuvassa 6 on esitetty 0,3–1,1 mm/s vyöhykkeet, joista kapein  $v_{max} > 1,1$  mm/s vyöhyke ulottuu enimmillään 3 m etäisyydelle ratalinjasta.

Historiallisten rakennusten ja arkeologisten kivirakenteiden värähtelyolosuhteita on tarkasteltu myös alueen maaperätietojen perusteella laadittujen geoteknisten poikkileikkausten kautta. Vanhojen rakennusten ja arkeologisten rakenteiden ohjearvoksi on laskettu  $v_{max} = 2,44$ – $3,41$  mm/s (maaperän vaihdellessa pehmeästä savesta löyhään hiekkään), mikä alittuu raitiolinjan arkeologisten rakenteiden kohdalla, kun etäisyys raitiolinjasta kasvaa yli 0,75–1,2 m myös syvyysuunnassa maaperästä riippuen.



Kuva 5. Turun raitiotie. Laskennalliset heilahdusnopeuden huippuarvot  $v_{max}$  etäisyyden funktiona ei maaperätyypeillä, resonanssia ei ole huomioitu.



Kuva 6. Turun raitiotie. Tärinän ( $v_{max}$ ) vyöhykkeitä Turun keskusta-alueella arkeologisten kivitalojen perustusten läheisyydessä.

### 6.2.2 Vaikutukset

Olettaen nykytilanteessa katujen päällysrakenne uudenveroiseksi, tärinän laskennallisen tason katualueella ja välittömästi sen alapuolisessa maaperässä voidaan arvioida nykyisellään vaihtelevan välillä  $v_{max} = 0,4-1,2$  mm/s (Taulukko 7). Vastaavasti tärinän nykytaso kadun viereisissä rakennuksissa arvioidaan olevan  $v_{max} = 0,1-0,3$  mm/s.

Katuja on kuitenkin liikennöity vuosikymmeniä, joten katurakenteeseen ja sen ympäristöön kohdistuvan tärinän tasossa on oletettavasti ollut ajan kuluessa merkittävää vaihtelua. Alla olevasta taulukosta (Taulukko 7) nähdään päällysrakennetyypin merkitys katuliikenteen tärinätasoon; esimerkiksi hieman kuluneen asfalttipäällysteen aiheuttama katuliikenteen tärinä kaksinkertaistuu edellä esitettyihin uuden asfalttipäällysteen arvoihin verrattuna. Nupukivipäällysteisellä katurakenteella puolestaan ajoneuvojen aiheuttama tärinä kolmin-nelinkertaistuu verrattuna uudella asfalttipäällysteellä aiheutuvaan tärinään.

Lisäksi tärinän lopulliseen tasoon vaikuttavat kadun rakennekerrokset ja niiden kunto; paksut ja hyväkuntoiset rakennekerrokset vaimentavat välittyvää tärinää tehokkaammin kuin ohuet ja huonokuntoiset.

Kun huomioidaan päällysrakenteen laadussa ja katujen rakennekerroksissa aikojen kuluessa tapahtuneet muutokset, raitiotierakenteeseen tulevien runkomeluvaimennusten (luku 7) vaikutus tärinään sekä se, että raitiotien etäisyys rakennuksista on suurella osalla linjaa suurempi kuin lähimmän katuliikenteen etäisyys, raitiotien aiheuttaman tulevan tärinän tason ympäröivissä rakennuksissa ei arvioida olevan merkittävästi suurempi kuin mitä rakennuksiin on vuosien saatossa katuliikenteestä aiheutunut.

Vastaavasti raitiolinjan alapuolella maaperässä sijaitsevien arkeologisten esiintymien (vanhat rakennusten perustukset) ei pääosin arvioida altistuvan tärinälle merkittävästi enempää kuin niihin on aiemmin kohdistunut katuliikenteen aiheuttamasta tärinästä. Aivan lähellä pintaa olevilla rakenteilla (alle 0,8 m syvyydessä) on kuitenkin tiukimpaan ohjearvoon (2,44 mm/s) nähden teoreettinen riski ohjearvon ylittymiselle. On kuitenkin huomattava, että joiltakin osin raitiotien rakentamisen yhteydessä raitiotien ja arkeologisten rakenteiden väliin lisättävä vaahtolasimurske vaimentaa hieman tärinää verrattuna nykytilanteeseen, mikäli sillä korvataan koheesiomaita tai heikkolaatuista täyttömaata.

Huomioitavaa on, että kokonaan maan ympäröimissä kiinteissä rakenteissa heilahdusnopeuden taso on lähempänä maaperässä esiintyvän heilahdusnopeuden tasoa, eikä se siis ole suoraan verrattavissa olemassa olevien rakennusten perustuksille laskettuihin heilahdusnopeuksiin. Tärinäasiantuntijoiden kesken on yleinen käsitys, että maan sisällä olevat rakenteet ovat tärinältä paremmassa suojassa kuin maan päällä olevat rakenteet.

Tulevan katuliikenteen aiheuttaman tärinän osalta voidaan todeta, että joukkoliikennekaistalle suunnitellulla nupukivipäällysteellä bussiliikenteestä aiheutuva tärinä metrin syvyydessä, kun pohjavahvistustoimenpiteenä on maanvarainen laatta, on arviolta n. 1,2 mm/s, mikä jää alle arkeologisten rakenteiden ohjearvon. Koska tärinää rakennuksen vaurioitumisen osalta tarkastellaan yksittäisten esiintymien perusteella, ei ajoneuvoliikenteen määrän vähenemisellä tulevaisuudessa ole tarkastelun kannalta tärinätasoa vähentävää vaikutusta.

Taulukko 7. Turun raitiotie. Katuliikenteen aiheuttaman tärinän taso erilaisilla päällysrakenteilla verrattuna raitiotieliikenteen tasoon ilman tärinänvaimennuksia ( $v_{max}$ , mm/s). Ajoneuvon nopeus on 40 km/h. Taulukossa esitetyn vaihteluvälin pienempi arvo vastaa kovaa karkearakeista maata ja suurempi arvo pehmeää koheesiomaata (pehmeä savi,  $s_u < 10$  kPa).

	Päällysrakenne	Katurakenne etäisyys herätteestä 1 m	Rakennukset etäisyys herätteestä 5 m
Katuliikenne	Uusi AB-päällyste	0,4–1,2	0,1–0,3
	Kulunut AB-päällyste (ei reikiä)	0,8–2,4	0,2–0,6
	Nupukivipäällyste	1,4–4,4	0,4–1,0
Raitiotieliikenne		1,2–2,3	0,1–1,8

## 7. LIIKENTEESTÄ AIHEUTUVA RUNKOMELU

Runkomelumallinnuksen tulokset on esitetty karttalehdillä raportin liitteessä 5.

Runkomelukartoilla on esitetty rakennukset, joissa runkomelun ohjearvot ylittyvät. Rakennukset on jaettu kahteen luokkaan sen mukaan mikä rakennuksen runkomelutaso on. Arviointi on tehty kaikille taulukossa 3 esitetyille rakennustyypeille. Rakennusten runkomelutasot on esitetty kartoilla tilanteessa, jossa rataa ei ole toteutettu vaimennustoimenpiteitä.

Runkomelun laskennassa pyritään arvioimaan suunnittelualueen rakennusten runkomelutasot ylärajan mukaan. Analyysi suoritetaan siten, että runkomelua vaimentamia eristysrakenteita ei huomioida. Analyysissä tarkastellaan kolmea eri tapausta radan ja rakennuksen perustamistavan sekä maaperätyypin mukaan:

- rata ja rakennus pehmeällä maaperällä,
- rata ja rakennus kovalla maaperällä ja
- rata ja rakennus kalliolla (kallion etäisyys maanpinnasta alle kolme metriä).

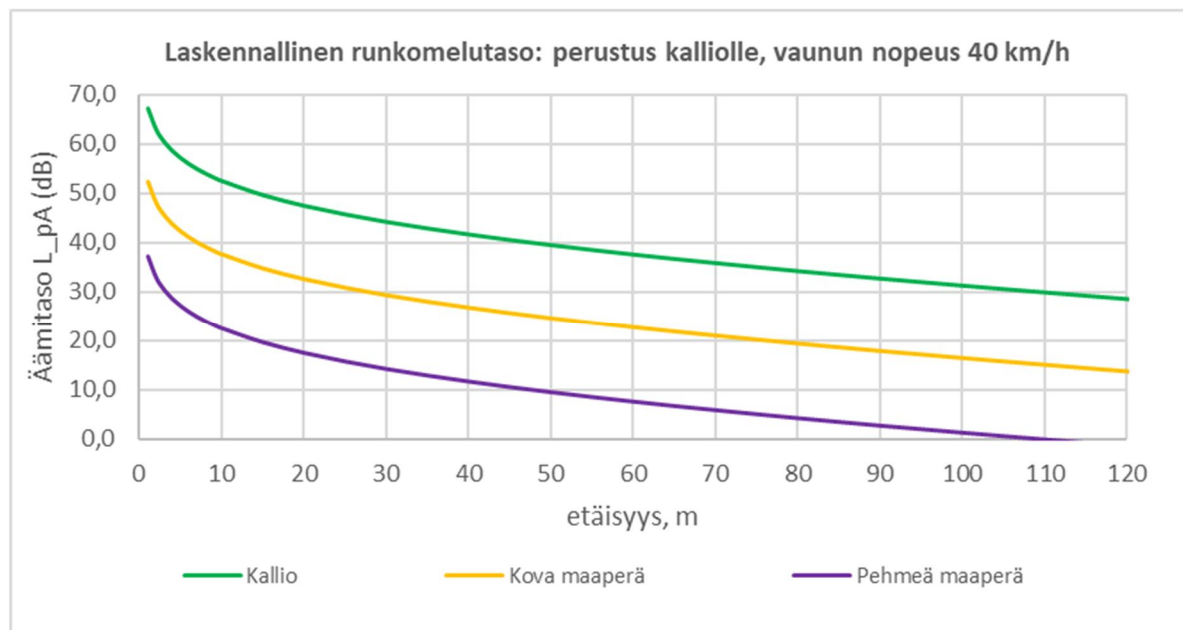
Alla olevassa kuvassa (Kuva 7) esitetään runkomelutasojen  $L_{pA}$  laskennalliset arviot etäisyyden funktiona kerros- ja pientalolle, kun raitiovaunun nopeus on 40 km/h. Tarkastelussa on kunkin rakennustyyppin pohjakerros.

Runkomelutasoille lasketut etäisyydet raitiolinjasta raitiovaunun eri nopeuksilla on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 8). Runkomelun vaimenemisen ero pehmeissä maissa verrattuna kalliioon näkyy hyvin siinä, kuinka esim. 30 dB vyöhyke on pehmeillä mailla 2–7 m etäisyydellä raitiolinjasta, kun taas kalliolla vyöhyke ulottuu 42–143 m päähän.

Raitiotielinjauksille suunnitellut pohjanvahvistukset on huomioitu mallinnuksessa siten, että rata tulkitaan vahvistettavilla osuuksilla perustetun kovalle maaperälle.

Runkomelukartoilla on esitetty ne rakennukset, joiden runkomelutasot ylittävät ko. rakennustyyppin ohjearvon. Tällaisia asuinrakennuksia on yhteensä 63 kpl, joista 53:lla runkomelutaso on välillä 35–40 dB ja 10:llä yli 40 dB. Vastaavasti 35–40 dB hotellirakennuksia on 2 kpl ja yli 40 dB rakennuksia 1 kpl. Kahdessa julkisessa rakennuksessa, joissa molemmissa toimii myös teatteri, runkomelu on tasolla 35–40 dB. Liikerakennuksia tai muita yleisiä rakennuksia, joissa runkomelutaso ylittää 40 dB on 12 kpl. Näiden lisäksi 40 dB runkomeluraja saattaa ylittyä Turun Yliopistollisen keskussairaalan kompassisairaalassa. Runkomelutarkastelussa ei ole huomioitu niitä rakennuksia, jotka Turun raitiotien toteutussuunnitelmassa määritellään purettaviksi.

Tarvittavat runkomelueristykset on pyritty määrittelemään siten, että raitiolinjan varrella olevien rakennusten runkomelutasot saataisiin ohjearvojen alapuolelle. Vaimennettaviksi esitetyillä rataosuuksilla eristysratkaisuksi ehdotetaan esimerkiksi annetun vaimennustason (5, 10 tai 15 dB) mukaista routalevyä tai vaimennusmattoa. Määritellyt runkomelueristykset on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 9).



Kuva 7. Turun raitiotie. Runkomelutason laskennallinen arvio etäisyyden funktiona raitiotiestä eri maaperillä (vaunun nopeus 40 km/h, rakennus perustettu kalliolle).

Taulukko 8. Turun raitiotie. Runkomeluvyöhykkeiden etäisyydet raitiovaunun eri nopeuksilla.

Raitiovaunun nopeus		10 km/h	15 km/h	16 km/h	17 km/h	20 km/h	25 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h
Pehmeät maat	20 dB	3	5	5	6	7	9	12	16	21	25
	25 dB	2	3	3	3	4	5	6	8	11	14
	30 dB	2	2	2	2	2	2	3	4	5	7
	35 dB	3	2	2	2	2	2	2	2	3	3
	40 dB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Kovat maat	20 dB	24	36	38	40	47	57	65	80	93	105
	25 dB	13	20	21	23	27	34	40	52	62	71
	30 dB	6	10	11	12	14	19	23	30	38	45
	35 dB	3	5	5	6	7	9	12	16	21	25
	40 dB	2	3	3	3	4	5	6	8	11	14
Kallio	20 dB	100	127	131	135	147	163	177	199	217	231
	25 dB	68	90	94	98	108	122	135	155	172	186
	30 dB	42	60	63	66	74	86	97	115	130	143
	35 dB	24	36	38	40	47	57	65	80	93	105
	40 dB	13	20	21	23	27	34	40	52	62	71

Taulukko 9. Turun raitiotie. Runkomelun arvioidut eristystarpeet raitiolinjalla.

Linja	Alkupaalu	Loppupaalu	Pituus m	Eristystarve dB	Eristeen nosto sivuilla
X	60	1200	1140	5	molemmat puolet
S	2800	4100	1300	5	molemmat puolet
S	1800	2800	1000	10	molemmat puolet
S	0	1800	1800	15	molemmat puolet
A	0	850	850	15	molemmat puolet
A	850	1800	950	10	molemmat puolet
A	1800	3940	2140	5	molemmat puolet
A	3940	5400	1460	ei eristettä	ei eristettä
A	5400	5750	350	5	molemmat puolet
A	5750	6000	250	10	molemmat puolet
A	6000	6550	550	5	molemmat puolet
A	6550	6660	110	15	nosto länsipuolelle, ei nostoa itäpuolelle
A	6660	6980	320	5	nosto länsipuolelle, ei nostoa itäpuolelle
A	6660	7870	1210	5	molemmat puolet

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Turun raitiotiellä ei selvityksen perusteella katsota olevan erityistä tärinäriskeä asuinmu-  
kavuuden tai rakennusten vaurioitumisen osalta.

Raitiolinjan kohdalla olevista arkeologisista rakenteista aivan lähellä pintaa olevilla ra-  
kenteilla on tiukimpaan ohjearvoon nähden teoreettinen riski ohjearvon ylittymiselle.

On kuitenkin huomattava, että kyseessä olevat arkeologiset rakenteet ovat kokonaisu-  
udessaan maan ympäröimiä, ja ohjearvoja ei ole laadittu erikseen tällaisille tapauksille.  
Tärinäasiantuntijoiden kesken on yleinen käsitys, että maan sisällä olevat rakenteet ovat  
paremmassa suojassa kuin maan päällä olevat rakenteet. Lisäksi on huomattava, että  
vastaavilla lähtöoletuksilla arvioituna myös nykyisestä katuliikenteestä näihin rakentei-  
siin kohdistuva tärinä laskennallisesti ylittää ko. ohjearvon, mikäli päällysteessä on epä-  
tasaisuuksia tarkasteltavan rakenteen kohdalla. Kun huomioidaan nykyisten katujen  
pitkä käyttöhistoria ja päällysteen kunnossa tapahtunut vaihtelu, on todennäköistä, että  
rakenteisiin on katuliikenteestä kohdistunut vastaavan suuruista tai jopa voimakkaam-  
paa tärinää kuin mitä raitiotien on laskettu aiheuttavan.

Edellä esitettyyn perustuen ja huomioiden, että runkomeluvaimennetuilla rataosuuksilla  
vaimennusmenetelmä vaimentaa tyypillisesti jossain määrin myös tärinää, arvioidaan  
ettei arkeologisiin rakenteisiin kohdistu raitiotiestä sellaista tärinää, jonka taso oleellisesti  
poikkeaisi rakenteisiin aiemmin kohdistuneesta tärinästä.

Johtuen tärinän ohjearvon teoreettisesta ylittymisriskistä lähellä kadun pintaa sijaitse-  
vissa arkeologisissa rakenteissa, raitiolinjalle ehdotetaan tämän selvityksen perusteella  
tärinämittausten toteuttamista niillä kohdin, joilla arkeologiset rakenteet ovat alle 1,2 m  
syvyydessä kadun pinnasta raitiotien kohdalla. Tärinämittausten perusteella voidaan tar-  
kentaa, tarvitaanko ko. kohdilla tärinävaimennusta.

Toteutusvaiheessa historiallisista kohteista tärinämittaus voidaan tehdä suoraan esi-  
neestä tai rakenteesta yhdessä konservaattorin kanssa. Tällöin käytetään erikoisvevyttä  
kiihtyvyyssanturia, minkä konservaattori kiinnittää kohteeseen. Mittaus suoraan maape-  
rältä suojeltavan kohteen vierestä on myös mahdollinen. Tällöin mittauksen ohjearvo  
tulee määrittää kohdekohtaisesti. Yleisesti ohjearvot on määritetty suoraan rakenteesta  
tehtyyn mittaukseen.

Raitiotiestä aiheutuvat runkomelutasot aiheuttavat mallinnuksen perusteella useilla lin-  
jauksen varrella olevilla rakennuksilla (yht. 80 kpl) runkomelun ohjearvojen ylityksiä.  
Valtaosalle raitiolinjaa suositellaan tähän pohjautuen lisättävän runkomeluvaimennusta  
(Taulukko 9) esimerkiksi routalevyllä tai vaimennusmatolla. Raitiolinjan vaimennustarve  
vaimennettavilla alueilla vaihtelee 5–15 dB välillä.

Rakennusten välipohjien resonanssi on mahdollinen hyvin monenlaisissa rakennuksissa  
ja maaperissä etenkin alle 50 metrin etäisyydellä väylästä. Erityisesti uusien rakennusten  
välipohjien suunnittelussa tulisi huomioida raitiovaunun aiheuttaman värähtelyn taajuus-  
alue, pohjamaan ominaistajuuudet ja radan epäjatkuvuuskohdat (esim. kiskonjatkokset  
ja vaihteet).

Sekä tärinä- että runkomelulaskelmiin liittyy epävarmuutta moninaisista syistä. Häiritse-  
vää tärinää tai runkomelua voi esiintyä paikallisesti myös alueilla, joilla riskiä ei tässä  
selvityksessä arvioida olevan johtuen esimerkiksi poikkeamista maa- tai kallioperässä.  
Etenkin vaihteiden ja muiden radan epäjatkuvuuskohtien, joihin ajetaan raideosuuden  
maksiminopeutta, suunnitteluun on kiinnitettävä erityishuomiota sekä tärinän että run-  
komelun osalta. Runkomelun tapauksessa väylän perustaminen paalulaatalle voi tietyissä  
tapauksissa kasvattaa laskennallisia äänitasoja  $L_{prm}$ , mikäli tärinän todetaan siirtyvän  
paaluista kallioon ja edelleen lähialueen rakennusten perustuksiin ja paaluihin.

Tärinää ja runkomelua on hankkeessa syytä arvioida uudelleen viimeistään ennen rakennussuunnitteluvaihetta. Vaimennusratkaisuja valittaessa tulee selvittää tarkemmin paalulaatan mahdollinen vaikutus runkomeluun.

## LÄHDEVIITTEET

- AFRY. 2021. Tampereen raitiotien tärinä- ja runkomelumittaukset, Tampereen kaupunki. 15.6.2021
- Geologian tutkimuskeskus. 2025. Maankamara-karttapalvelu. Saatavissa: <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>
- Liikennevirasto 2018. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne, Liikenneviraston ohjeita 13/2018. Saatavilla: [Ratatekniset ohjeet \(RATO\) osa 3](#)
- Muuritutkimus, 2025a. Turku, Hämeenkatu 16. Raitiotien suunnitteluhankkeen arkeologinen koekaivaus katualueella Hämeenkatu 16:n edustalla keväällä 2025. Muuritutkimus Oy 26.9.2025
- Muuritutkimus, 2025b. Turku, Uudenmaankatu. Raitiotien suunnitteluhankkeen arkeologinen koekaivaus Porthanin- ja Brahenpuiston välisellä katualueella keväällä 2025. Muuritutkimus Oy 26.9.2025
- Muuritutkimus, 2024. Raitiotien suunnitteluhankkeen arkeologinen koekaivaus marraskuussa 2024, Turku, Aninkaistenkatu 2. Muuritutkimus Oy 14.11.2024
- Muuritutkimus, 2022a. Turku. Suurtorin arkeologinen arvio – erityisesti kivirakennukset 2022. Muuritutkimus Oy 30.11.2022
- Muuritutkimus, 2022b. Turun raitiotiehanke – Arkeologinen selvitys. Muuritutkimus Oy 21.9.2022.
- RIL, 2024. Rakentamisen aiheuttamat tärinät. Julkaisu RIL 253-2024. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- SFS 5907, 2022. Rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Talja, A. 2011. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. VTT Tiedotteita 2569. Espoo. 35 s. + liitteet 9 s.
- Talja, A. 2005. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. VTT Tiedotteita 2278. Espoo. 50 s. + liitteet 15 s. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2004/T2278.pdf>
- Talja, A. & Saarinen, A. 2009. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. VTT Tiedotteita 2468. Espoo. 56 s. + liitteet 11 s. Saatavilla: <https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2009/T2468.pdf>
- Talja, A. & Törnqvist, J. 2014. Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius. Tutkimusraportti VTT-R-04703-14. 33 s. + liitt. 25 s. <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04703-14.pdf>
- Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. & Halonen, M. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT Tiedotteita 2425, 95 s. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2008/T2425.pdf>
- Turun maakuntamuseo, 2010. Kaupunkiarkeologiset tutkimukset 2010, Rothoviuksenkatu – Tuomiokirkonkatu, Turku.

Törnqvist, J. & Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. VTT Working Papers 50. Espoo. 46 s. + liitteet 33 s. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/pdf/workingpapers/2006/W50.pdf>

WSP, 2022. Raitiotieliikenteen tärinävaikutusten arviointi, Turun Raitiotien yleissuunnitelma. 24.5.2022

## LIITTEET

- LIITE 1 Karttalehtijako
- LIITE 2 Mallinnuksessa käytetyt maaperäkartat ja käytössä olleet pohjatutkimukset
- LIITE 3 Raitiotien alle suunnitellut pääasialliset pohjavahvistukset kaduittain
- LIITE 4 Tärinän asumismukavuuden vyöhykkeet raitiolinjalla
- LIITE 5 Raitiolinjan runkomeluvyöhykkeet sekä runkomelun ohjearvot ylittävät rakennukset