

Tutkimuskeskus

TERRA Geo
Road
Rail

Pohjaimien käyttö rautatieliikenteen aiheuttaman matalataajuaisen tärinän torjunnassa

RATA2025 12.2.2025

Antti Pelho, Anniina Söderholm

Sisältö

Johdanto

Matalataajuinen värinä

Aiemmat tutkimukset

Nykyinen projekti

Mallinnukset

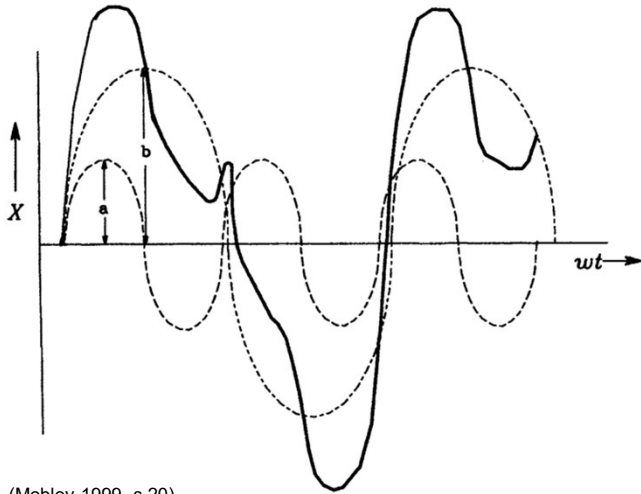
Tulokset

Johdanto

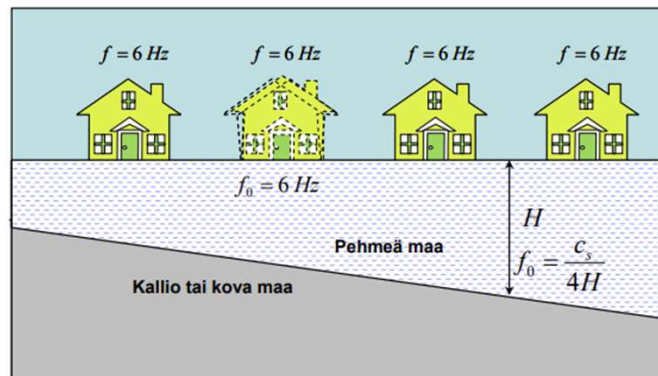
- Yhdyskuntarakenteen tiivistyminen on ohjannut raideliikennettä ja asuinrakentamista toistensa vaikutusalueelle.
- Aiemmin tästä ei koitunut kovin suurta harmia ja ihmiset olivat ymmärtäväisempiä erilaisia haittoja ja häiriöitä kohtaan.
- Kehityksen kehityttyä ja tehokkuuden vaatimuksien kasvaessa ovat junien akseli- ja kokonaispainot sekä ajonopeudet kasvaneet.
- Ihmisten elintason ja elinmukavuuden kasvaessa myös häiriöherkkyyden kynnyks on madaltunut.
- Häiriöilmoitusten lisääntyessä tärinäongelmien tutkiminen tuli ajankohtaisemmaksi
- Insinöörien on taas ratkaistava yksi fyysikaalinen tosiasia, josta kehittyi ongelma yhteiskunnalle



Matalataajuinen värinä



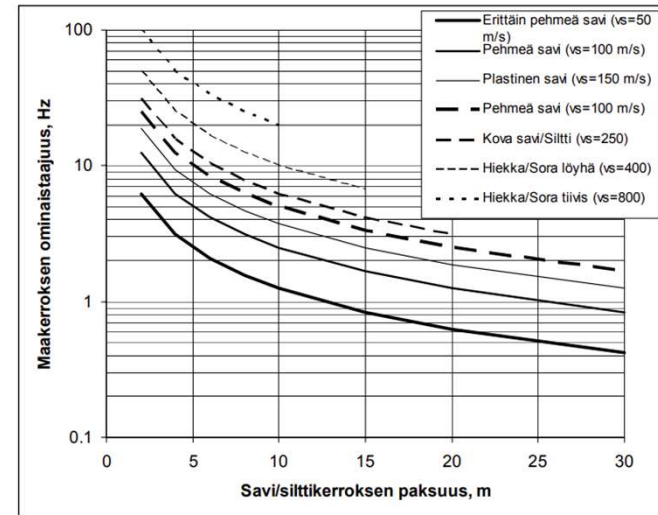
(Mobley 1999, s.20)



(Talja 2008 et. al Liite B s. 19)

	Mitta [m]	Taajuus [Hz] nopeudella 50 km/h	Taajuus [Hz] nopeudella 70 km/h
Vaunun pituus	13,92 ¹⁾	1,00	1,4
Peräkkäisten vau- nujen telien väli	3,0 ¹⁾	4,62	6,48
Teliväli	8,65 ¹⁾	1,61	2,25
Akseliväli telissä	1,8 ¹⁾	7,72	10,80
Lovipyörä	D=0,957 ¹⁾	4,62	6,47

1) Lopenen et al. 2016, s. 66



(Talja & Törnqvist 2006, Liite C s.5)

Aiemmat tutkimukset

- Raskaiden junien kuormitusvaikutusten monitorointi (2018)
- Radan vaakasuuntaiset voimat (2020)
- Komposiitti- ja pohjainratapölkkyjen vaikutus liikennetärinä Pori-Mäntyluoto rataosalla (2023)
 - Osa 1: Mittaukset testiradalla 1 vuonna 2020
 - FFU –pölkkyt (komposiittipölkkyt)
 - Jäykkyydeltään normaali pohjain
 - Osa 2: Mittaukset testiradalla 2 vuonna 2021
 - 5 eri pohjaintyyppiä
- Pohjainpölkkyjen tärinämittaukset, Kymin aseman pohjainpölkkyrata (2023)
- Tukikerroksen alle asennetun vaimennusmaton seurantamittaukset (2024)
- Pohjainten toimivuuden mallintaminen rautatietärinän vaimentamisessa (2025)
- **Pohjainten ja sepelinalusmattojen käytettävyys rataverkolla (2026)**



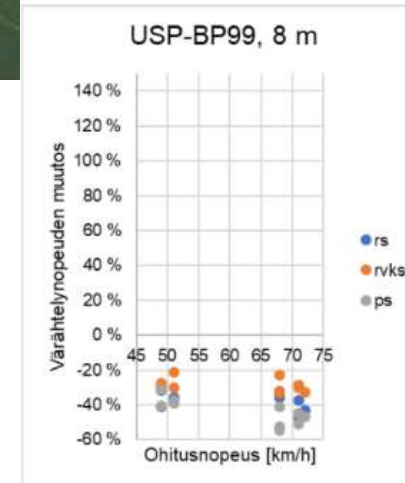
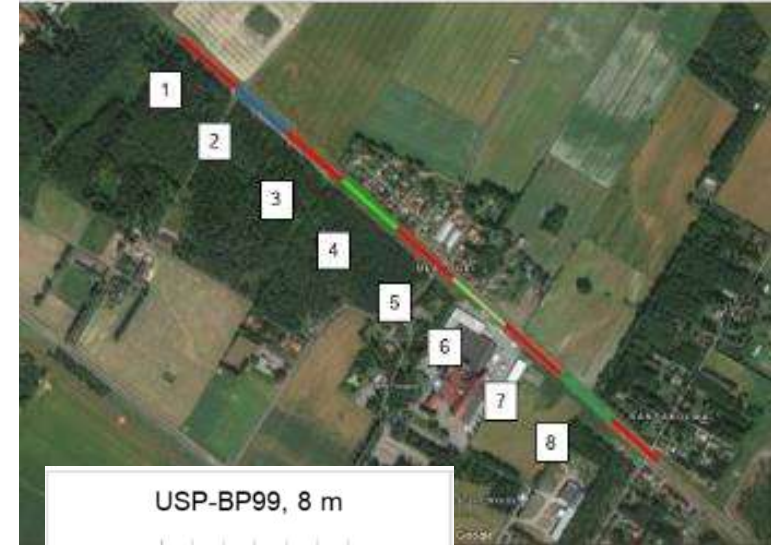
Tärinä on huomattavaa pehmeiköillä. Ongelmallinen tärinä on taajuussisällöltään matalaa. Nopeusrajoitukset toimivat.

Matalataajuisen tärinän vaimentaminen päällysrakenteessa. Onko mahdollista?

Vaikutukset raidegeometriaan

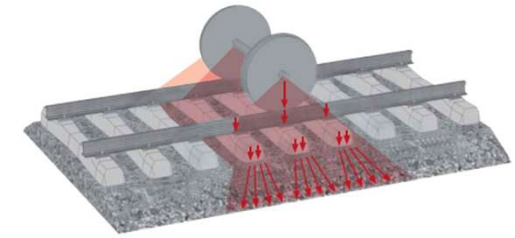
Poimittuja tuloksia aiemmista tutkimuksista

- Tärinä on huomattavaa pehmeikköalueilla (Kotka, Nakkila, Ulvila, Pori)
 - **Tärinä välittyy pehmeässä maassa sen ominaisuuksilla, noin 4-8 Hz, todella voimakkaasti**
 - Raskaat venäläiset GOST/OSJD –normin kalustoa olevat junat aiheuttavat huomattavasti enemmän tärinää kuin normaalisti Suomessa liikennöivä kalusto
 - Nopeuden alentaminen vaikuttaa tärinään huomattavasti
- Matalataajuisen tärinän vaimentaminen
 - Komposiittipölkkyt eivät vaimenna matalataajuisia tärinää merkittävästi. Vain levein tutkittu komposiittipölkky vaimensi matalataajuisia tärinää
 - Pohjaimet vaimentavat tärinää tapauskohtaisesti

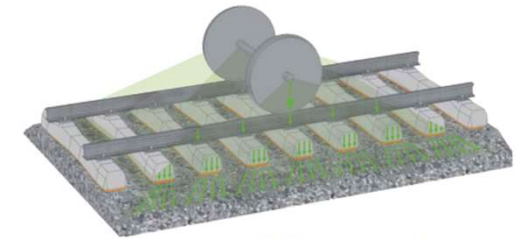


Poimittuja tuloksia aiemmista tutkimuksista

Tyyppi	Mittauslinjat	Paksuus [mm]	Tiheys [kg/m ³]	Materiaali	Jäykkyys [N/mm ³]	Pohjaimen jäykkyys	Pölkkytyyppi
Pandrol USP-R-07e	ML2, ML11, ML17	7	1050	resin-bonded rubber (CDM-RR)	0.18	Normaali	BP99
Pandrol USP-I-10b	ML10	10	820	resin-bonded rubber (CDM-RR)	0.10	Pehmeä	BP99
Getzner SLB 1510 G	ML12	10	420	mixed cellular urethane (PUR)	0.13	Pehmeä	B97
Getzner SLB 3007 G	ML14, ML16	7	120	mixed cellular urethane (PUR)	0.30	Jäykkä	BP99
Getzner SLS 1308 G	ML15	8	875	mixed cellular urethane (PUR)	0.13	Pehmeä	B97

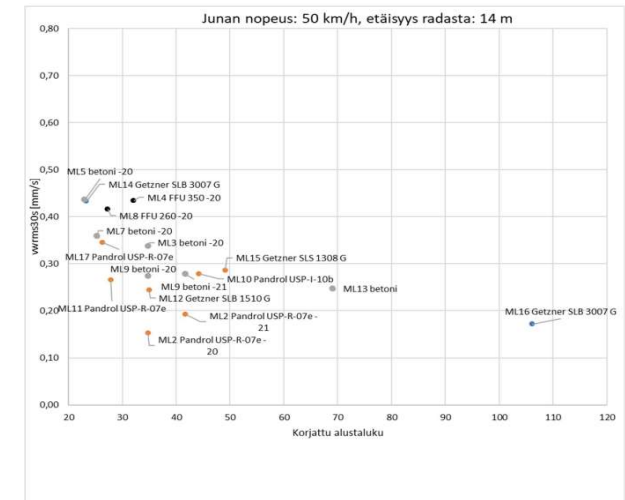
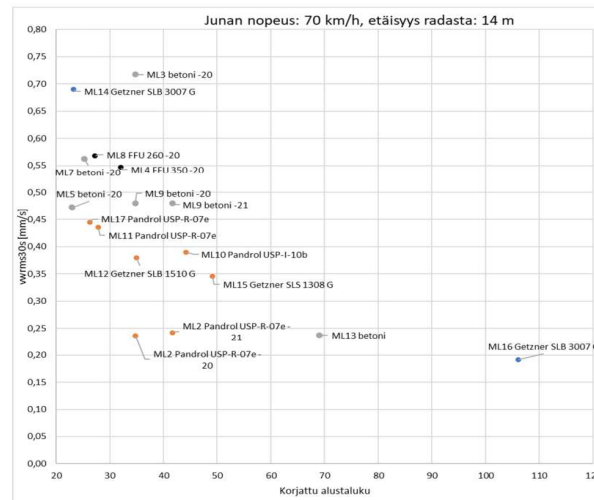
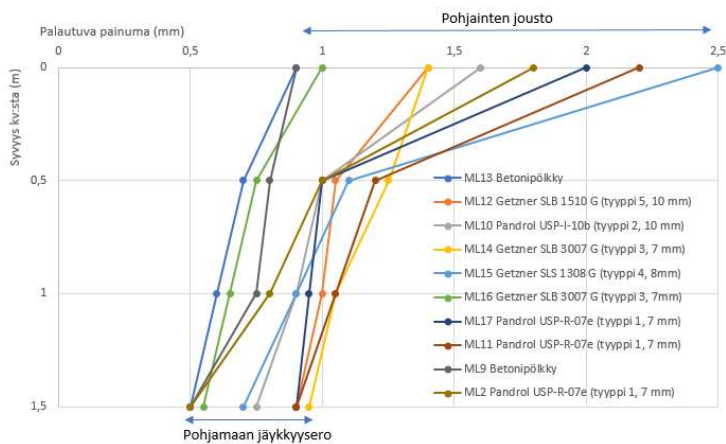


Load distribution without under sleeper pads



Load distribution with under sleeper pads

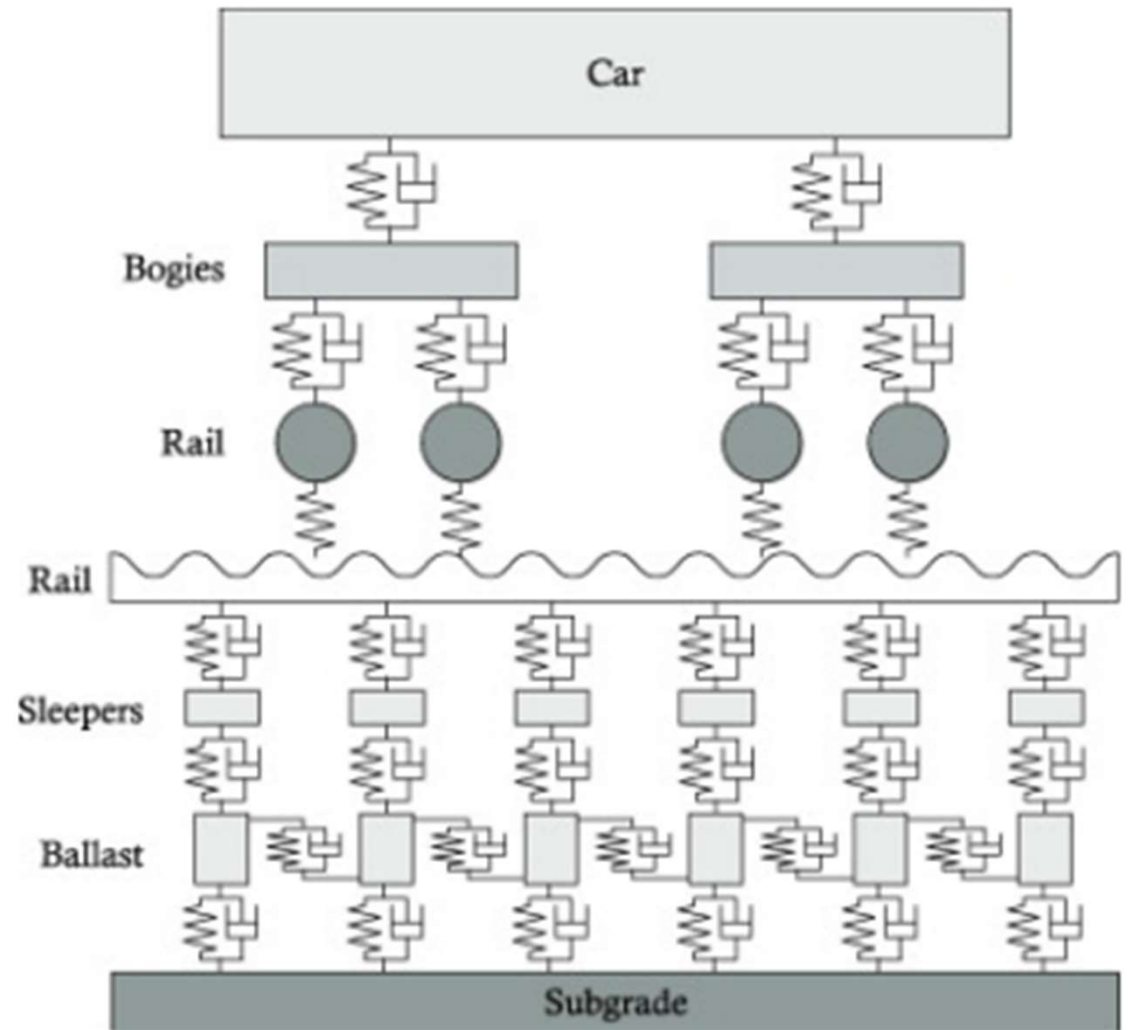
(Getzner 2024, s. 4)



Projektilla saavutettavat tulokset ja pohdintaa

- Projektin yhteenvedona on tarkoitus kehittää ohjeet, joilla pohjaimen ja sepelinalusmaton valinta eri tyyppisiin pohjamaihin tärinän vaimentamisen näkökulmasta helpottuisi
- Ohjeet tulevat sisältämään taulukon, joka kuvaa mikä lisäjouaston määrä, ja mihin kohtaan ratarakennetta se tarvitaan minkäkinlaiselle pohjamaalle (radan jousto), jotta haluttu tärinänvaimennus saavutetaan.
 - Radan jousto on mitattava suure
 - Lisäjouaston määrä on arvioitavissa/laskettavissa pohjaimien ominaisuuksien kautta kalustokohtaisesti
- Tietty pohjain ja sepelinalusmatto tietyssä kohteessa tulee mitoittaa myös määrittävimmän kaluston mukaisesti
- Vaikka pohjain on Pori-Mäntyluoto radalla vaimentanut tärinää lähes yhtä paljon kuin nopeusrajoitus, ei tämä oletettavasti tule tapahtumaan jokaisella rataosalla.
 - **Junien nopeus vaikuttaa telin/akselin/vaunun ohitustaajuuteen, jotka ovat matalataajuisen tärinäherätteen tärkeimmät osa-alueet**
 - **Resonanssi maaperän/rakennuksen kanssa aina mahdollinen**

Mitä tapahtuu, kun lisätään pölkyn alle joustoelementti eli pohjain?

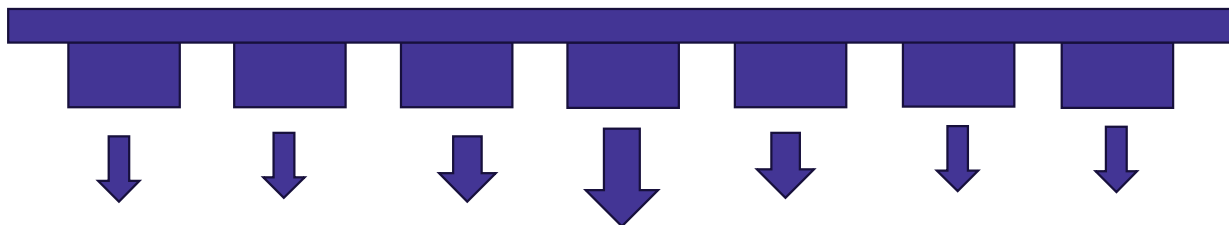
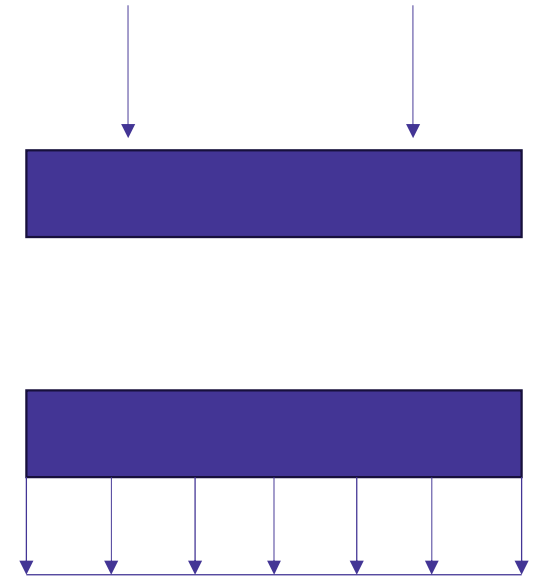


<https://www.getzner.com/en/products/rail-products/sleeper-pads>

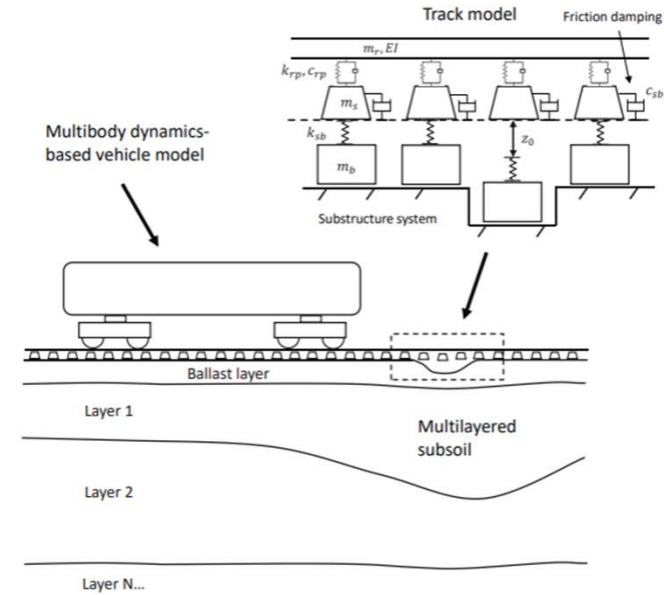
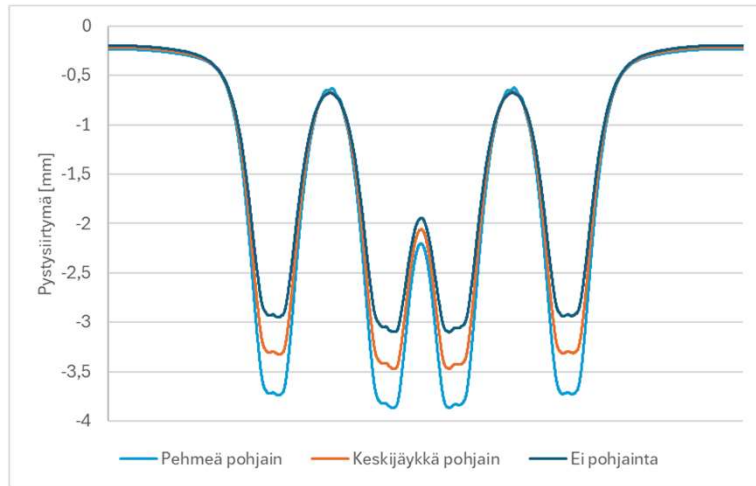
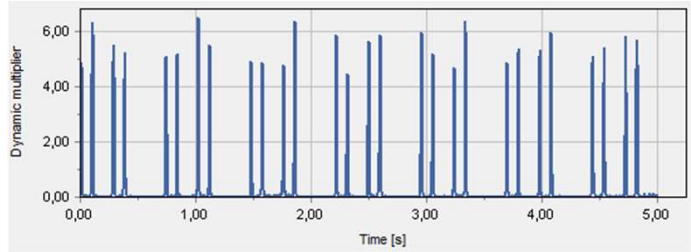
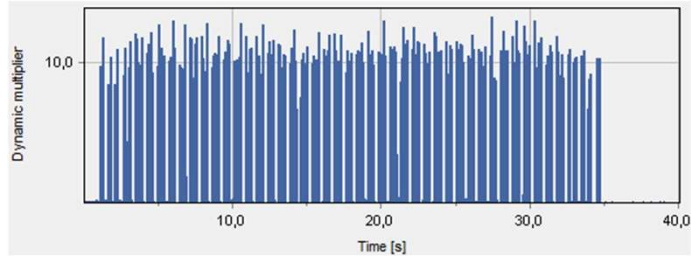
<https://uic.org/IMG/pdf/uic-railway-induced-vibration-report-2017.pdf>

Mallinnus ja heräte (idea)

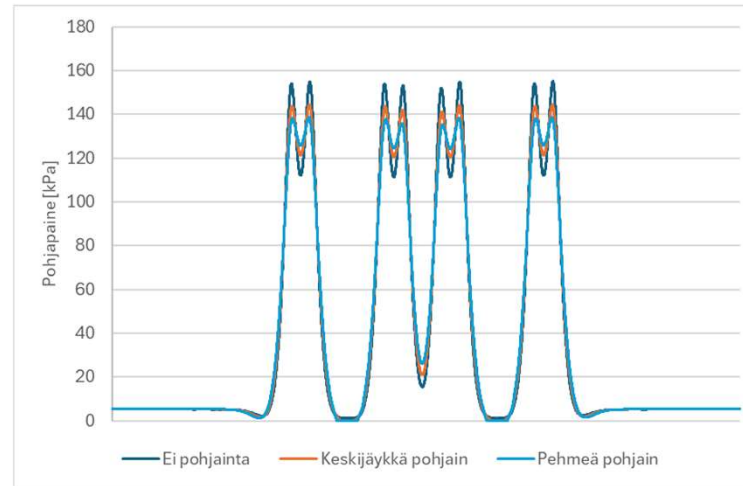
- Mallinnuksen tarkoituksena on selvittää voiko Plaxis 2D tai 3D ohjelmistoa käyttää tärinän välittymisen ja vaimentamisen selvittämiseen ja jos voi millä lähtötiedoilla?
- 2D mallinnuksessa on pakko tehdä paljon yksinkertaistuksia sekä kuvata tiettyjä ilmiöitä hieman todellisuutta erilaisella tavalla
 - Heräte
 - Pohjaimen käyttäytyminen
 - Sepelinalusmaton käyttäytyminen
- Mallia tehdessä tulee tietää, mitä mallilta haluaa ja mitä malli ei kykene tekemään



Mallinnus ja heräte (toteutus)



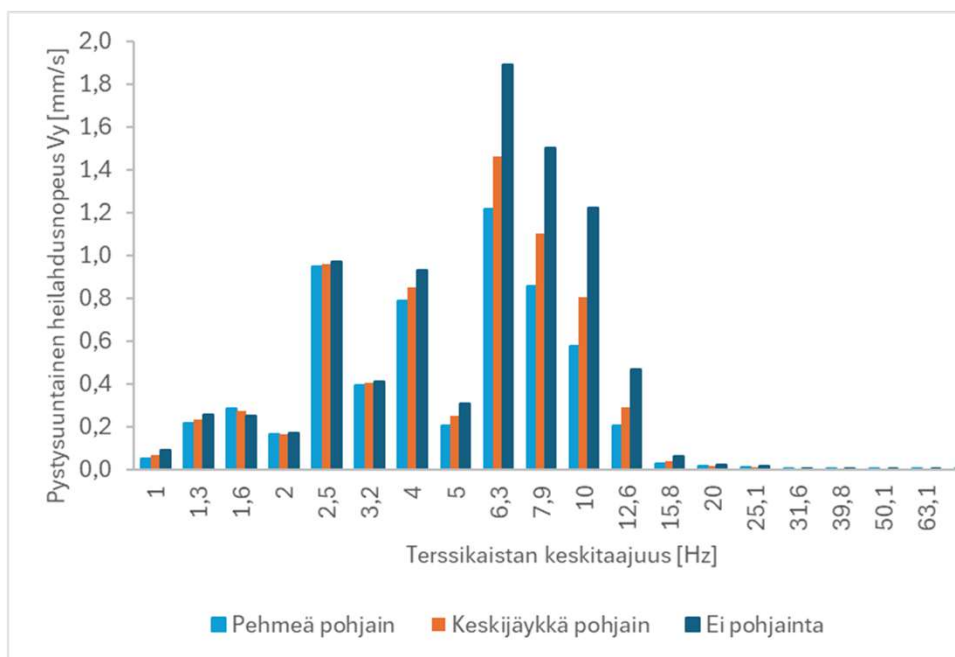
(Peltomäki et. Al 2024, s.4)



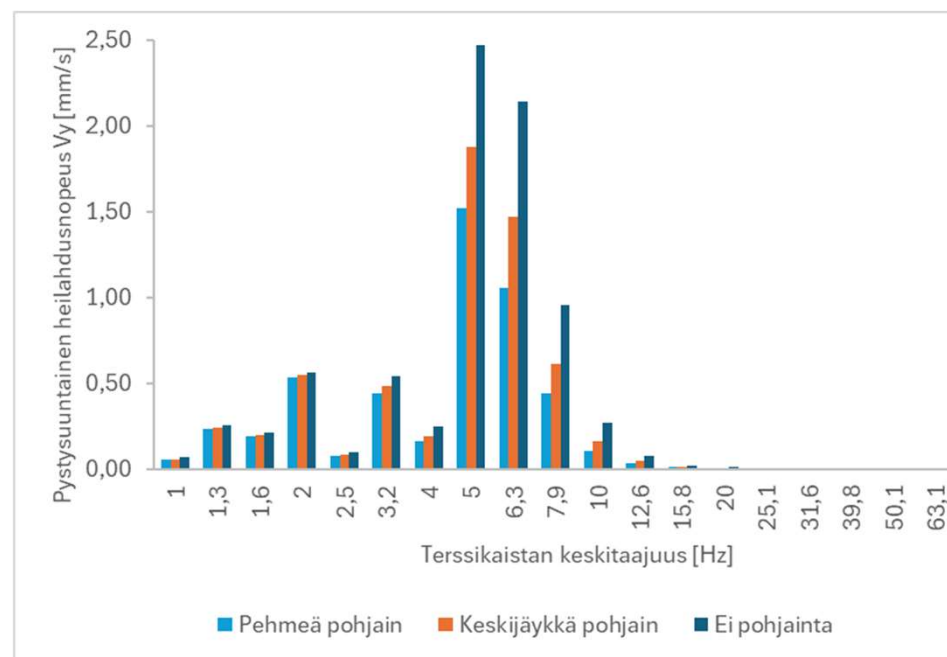
Poimittuja tuloksia

Pohjamaa
Savi (E = 30 MPa)

70 km/h

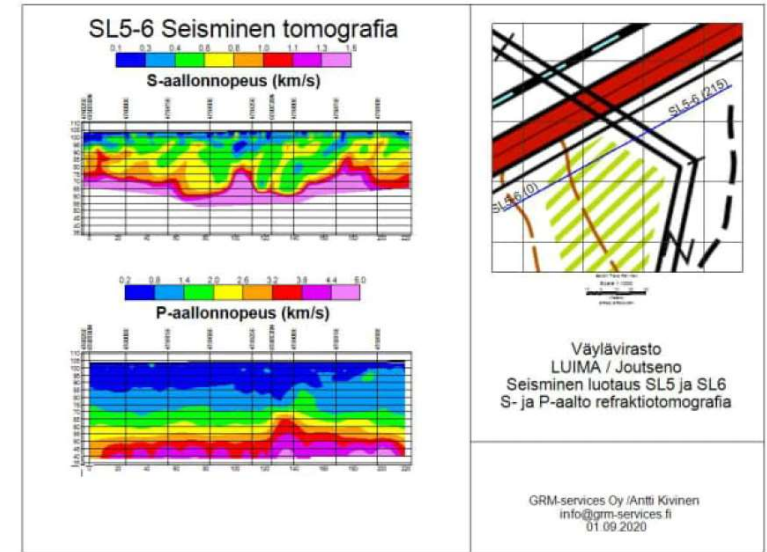


50 km/h

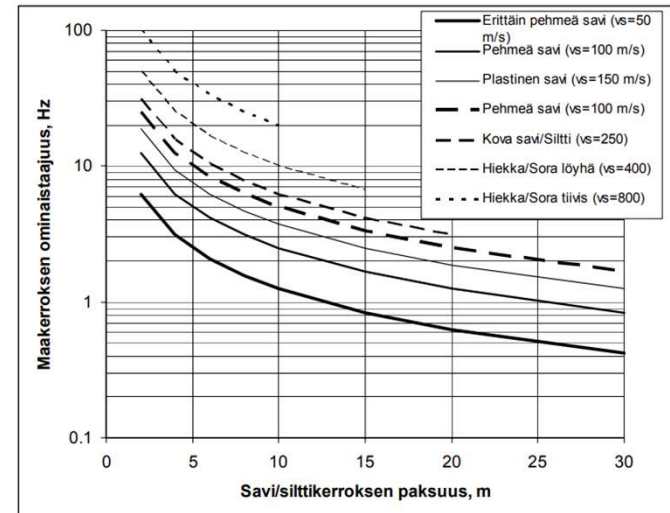


Pohjamaan rooli

- Pohjamaa todettu mittauksissa ja mallinuksissa olevan suurin tekijä junaliikenteen aiheuttaman tärinän vaikutuksissa
- Tarkoituksenmukaisten pohjatutkimusten tekeminen kohteissa, joissa tärinänhallintaa oletetaan tarvittavan.
 - Penkereen ja maaperän siirtomobilitiitin selvittäminen
 - Keinoherätemittauksia maaperästä
 - Pohjatutkimusohjelmien tekoon mukaan myös tärinäsuunnittelija
 - Tärinäsuunnittelulle aikaa hyvin aikaisessa vaiheessa
- **AIKATAULU!**
 - Pohjamaan ominaistajuuden selvittäminen aikaisessa vaiheessa suunnittelua



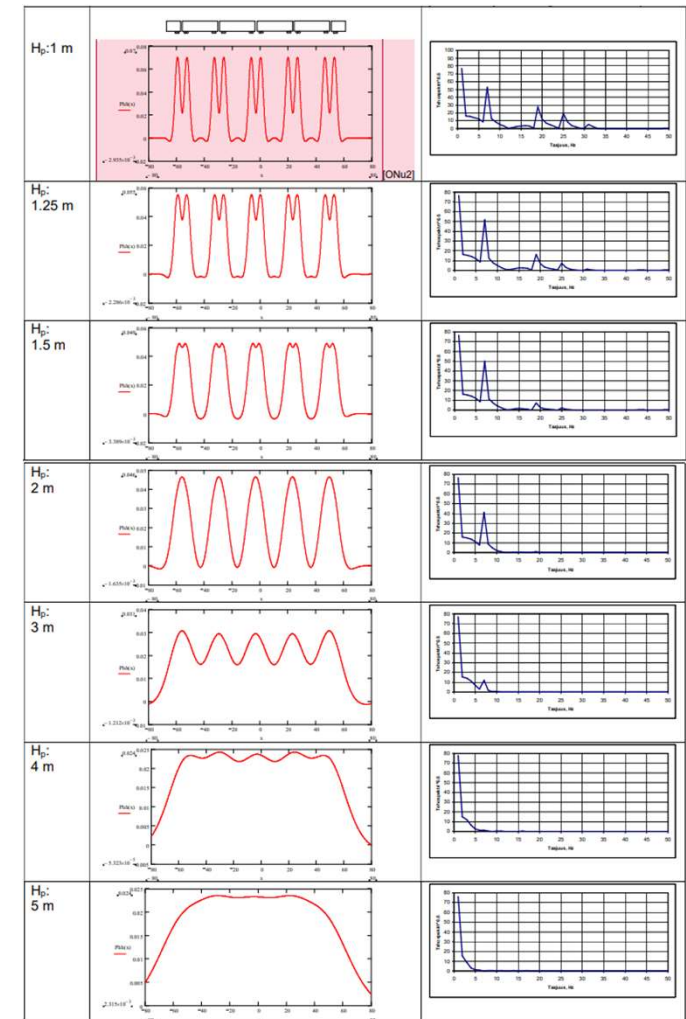
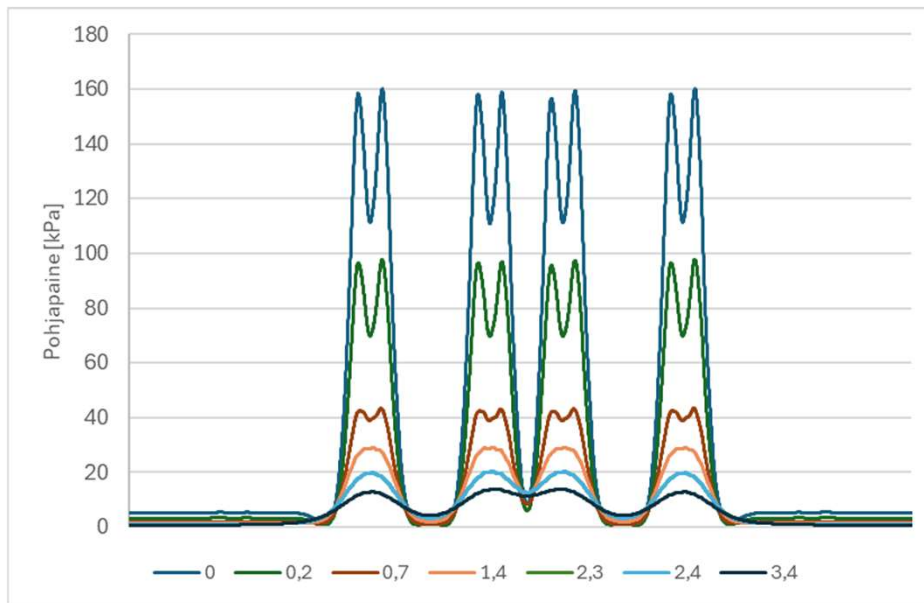
Kuva: Lauri Tehomaan diplomityö



(Talja & Törnqvist 2006, Liite C s.5)

Pengerkorkeus

- Pengerkorkeuden havaittiin vaikuttavan kirjallisuusselvityksen ja mallinnuksen perusteella huomattavasti matalataajuisen tärinään
- Vaikutus perustuu kuorman jakautumiseen



Pohjaimien käytettävyys matalataajuiseen tärinään

- Anniina Söderholmin erinomaisessa diplomityössä on muodostettu ehdotus pohjaimen käytettävyydelle matalataajuisen tärinän vaimentamisessa.
- Tuloksissa + tarkoittaa pohjaimen vaimentavan tärinää
- Tuloksissa – tarkoittaa ettei pohjaimella ole merkitystä tärinään
- Pohjaimien ei todettu kasvattavan tärinää missään tilanteessa

VOK-VAUNULLINEN JUNA		PYSTYSUUNTAINEN HEILAHDUSNOPEUS	
		Matala 1–5 Hz	Korkea 5–15 Hz
SAVI	Matala, alle 1 m pengeri	-	-
	Penger 2,4 m	-	+
SILTTI	Matala, alle 1 m pengeri	++	+++
	Penger 2,4 m	+	++
MOREENI	Matala, alle 1 m pengeri	++	++
	Penger 2,4 m	++	++

Kiitos!

Lisätietoja:
antti.pelho@tuni.fi

Lähteet

Getzner. (2024) *Under sleeper pads for ballasted track*. [Esite]. Bürs: Getzner Werkstoffe GmbH. [Viitattu 3.10.2024]. Saatavissa: <https://www.getzner.com/en/products/rail-products/sleeper-pads>

Loponen, T., Salmenperä, P. & Nurmikolu, A. (2016) *Liikkuvan kaluston ja raiteen välinen vuorovaikutus ja sen dynaaminen mallinnus*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 14/2016, Helsinki, Liikennevirasto.

Mobley, R. K. (1999) *Vibration Fundamentals*. 1st edition. San Diego: Elsevier.

Peltomäki, M., Luomala, H. & Kolisoja, P. (2024) *Simulating the effects of structural discontinuities on the long-term behavior of the ballasted railway track*. Tampereen yliopisto.

Talja, A & Törnqvist, J. (2006) *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa*. VTT Working Papers 50.

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