

Radan geometriavirheiden rooli matkustusmukavuuden ja ratarakenteen kuormituksen näkökulmasta

Liikkuvan kaluston ja radan yhteistoiminnan mallintaminen

Marko Peltomäki

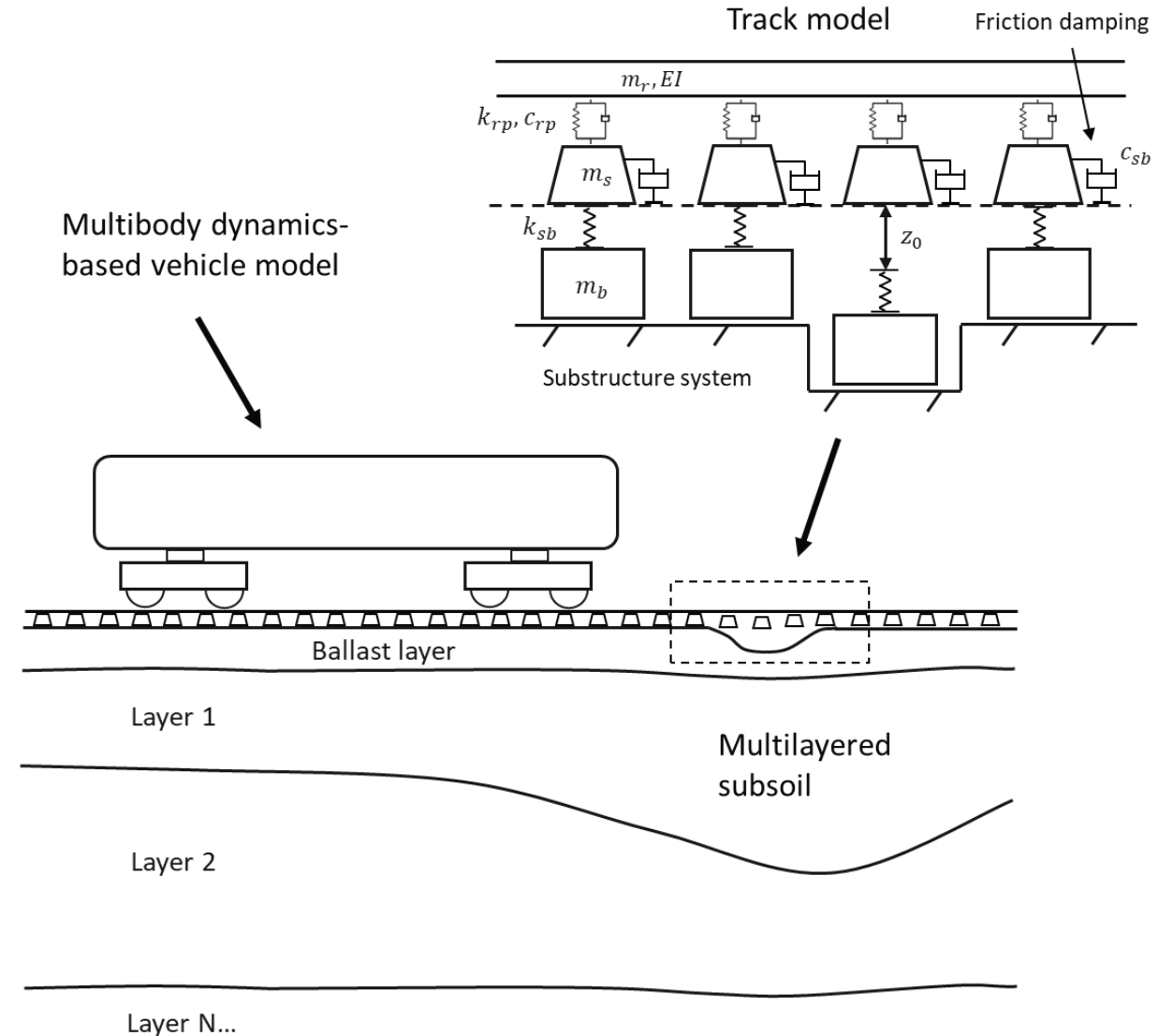
Rata 2025

Mitä ja miksi?

- Tampereen yliopiston tutkimuskeskus Terran ja Väyläviraston NOSERA -tutkimusyhteistyössä on kehitetty uudentyyppinen laskentamalli radan ja kaluston pitkäaikaisen yhteistoiminnan simuloimiseksi.
- Tutkittu laskennallisesti liikkuvasta junakalustosta ratarakenteeseen kohdistuvia kuormituksia ja simuloitu erilaisten ratarakenteiden pitkäaikaista toimivuutta.
- Tutkimustulokset edesauttaa riskitekijöiden ennakoivaa tunnistamista ja tuottaa tietoa rakenneoptimoinnin tueksi (esim. suurnopeusradat).

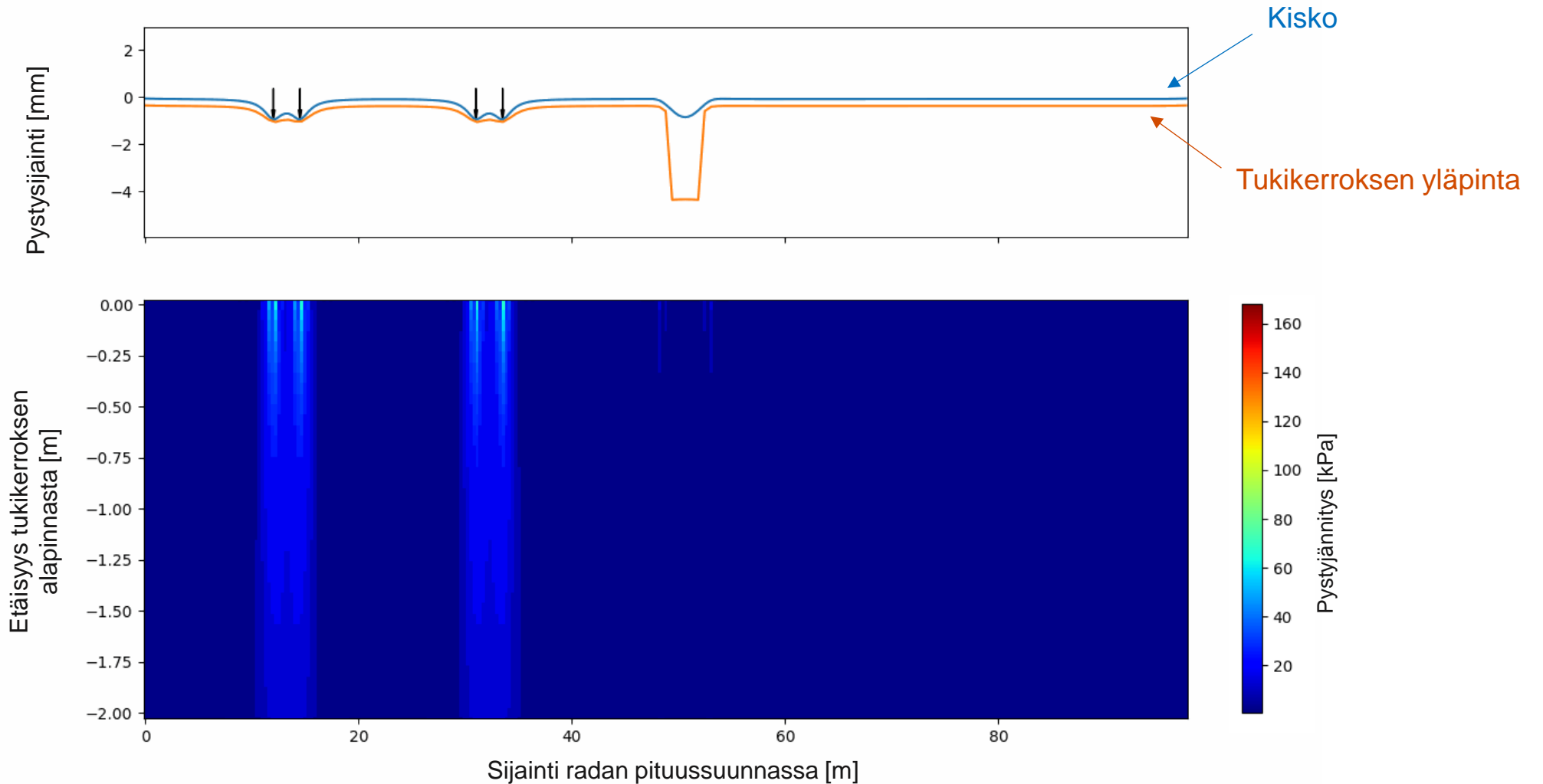
Miten?

- Laskentamallissa monikappaledynamiikkaan perustuvan kalustomalli on yhdistetty epälineaarisen ratamallin kanssa kontaktimekaniikan keinoin.
- Verifiointissa on hyödynnetty monipuolisesti mittaustuloksia.
- Työkalun laajemman käytön mahdollistamiseksi ohjelmistoon on rakennettu graafinen käyttöliittymä - lopputuloksena täysin toimiva työohjelmisto.

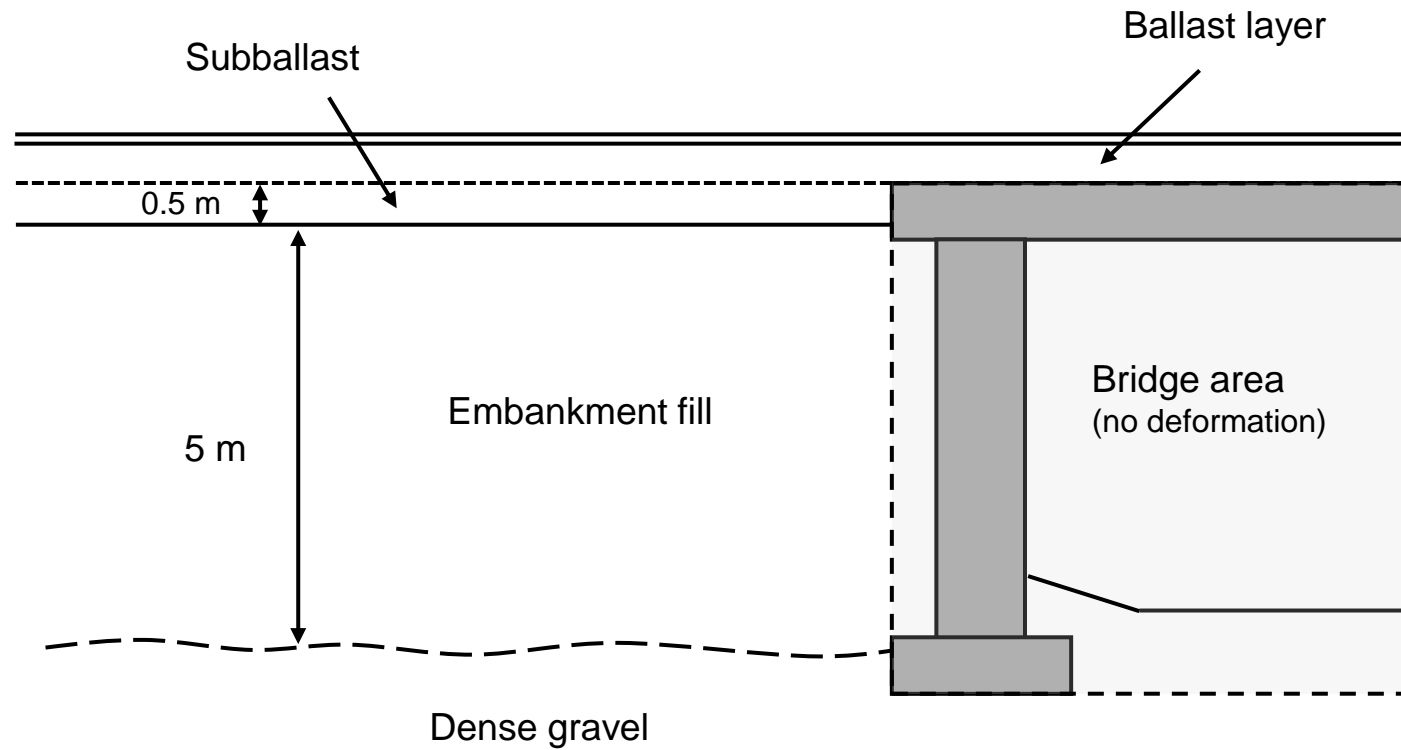


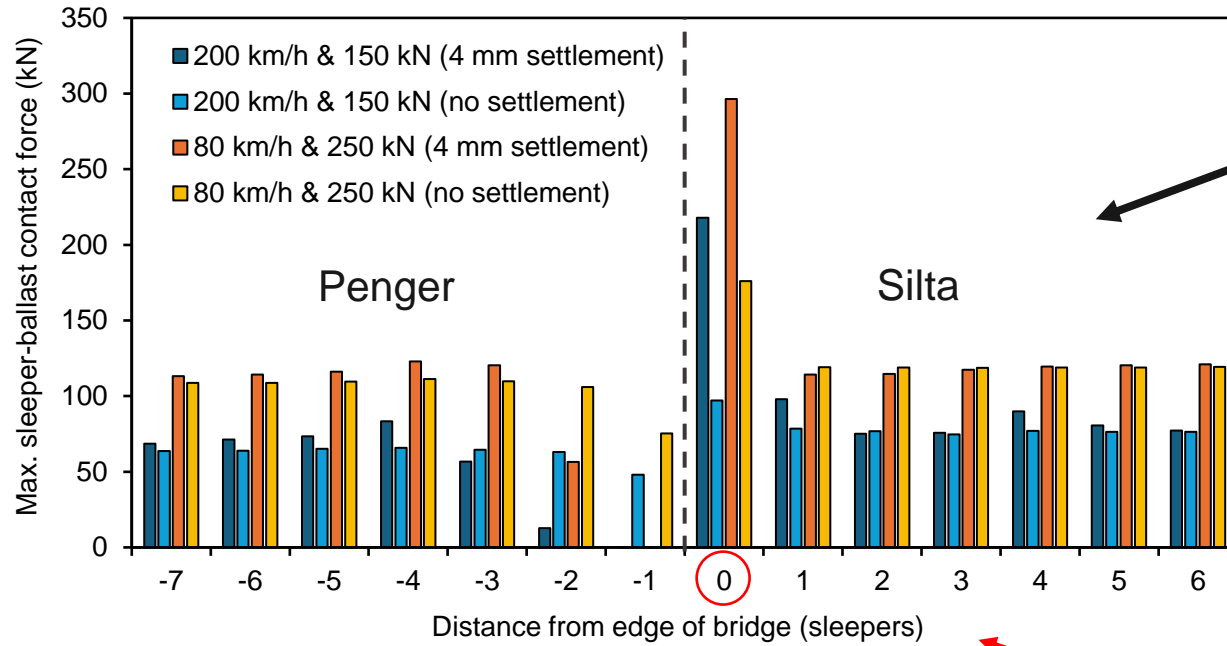
Havainnekuva: monttu ja alusrakenteen dynaaminen jännitystaso

Ajonopeus 200 km/h (pelkistykseen vuoksi pölkyt jätetty kuvasta pois)



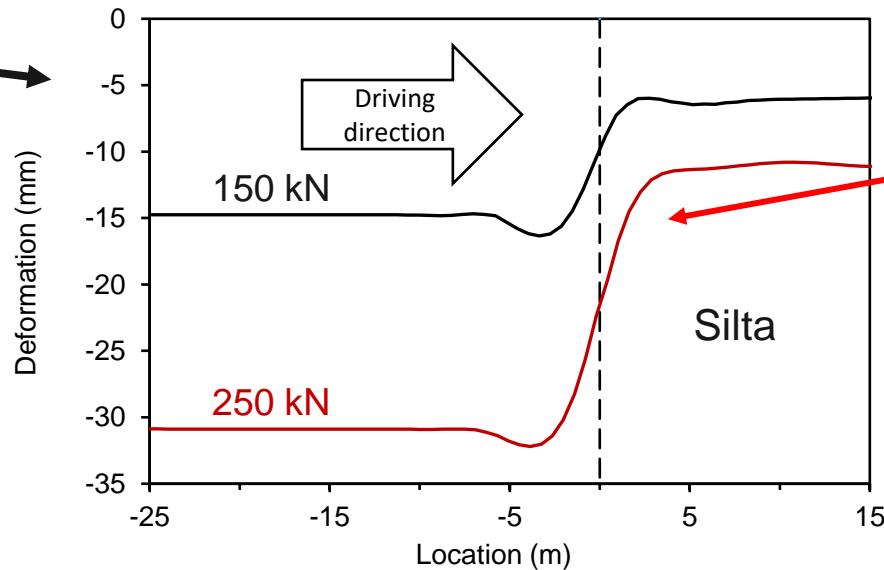
Esimerkkilaskenta: siirtymälaaton siltapäätty





Jäykkyyseron ja penkereen painuman (suuruus 4 mm) vaikutus rakenteen kuormitusvasteeseen

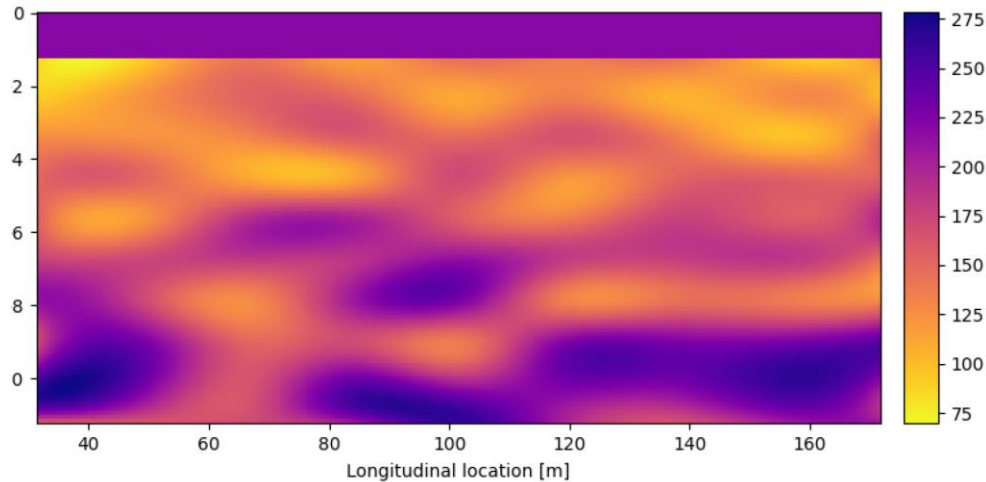
Rakenteen kokonaisdeformaatio 200 000 akselin ylityksen jälkeen



Tukikerroksen kuormitus ja deformaatio suurinta siltapäädystä - voi johtaa raidesepelin paikalliseen hienontumiseen.

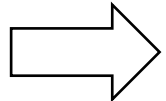
Pohjamaan painumavirheiden merkitys

- Laskentamallissa voidaan simuloida myös pidempiä rataosuuksia ($\approx 1 \dots 2$ km) laajempien virhetyyppien tutkimiseksi.
- Lisäksi mallissa voidaan huomioida mm. radan rakennekerrosten ja pohjamaan ominaisuuksien luontainen hajonta (esim. kuva alla).

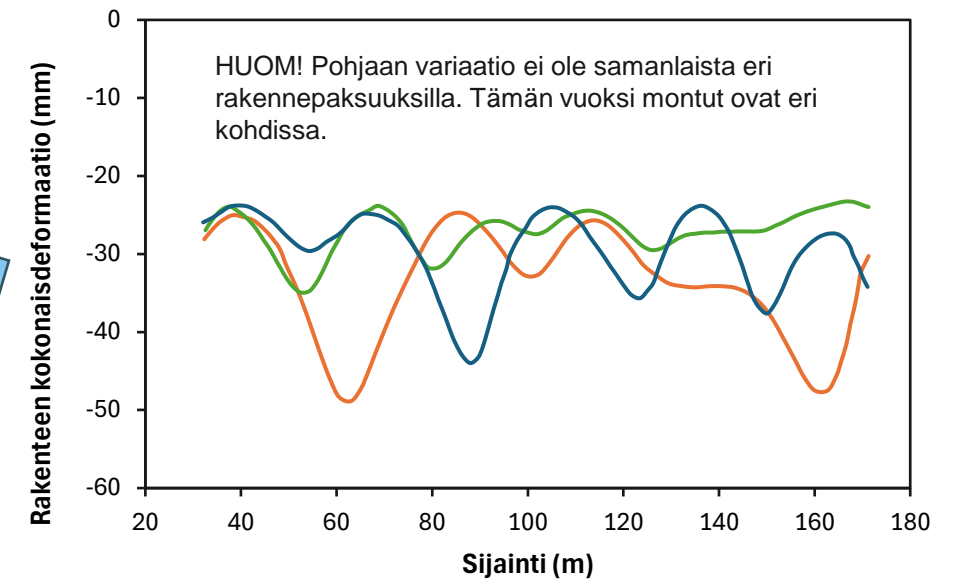


Radan kokonaispainuma 500 000 akselin jälkeen

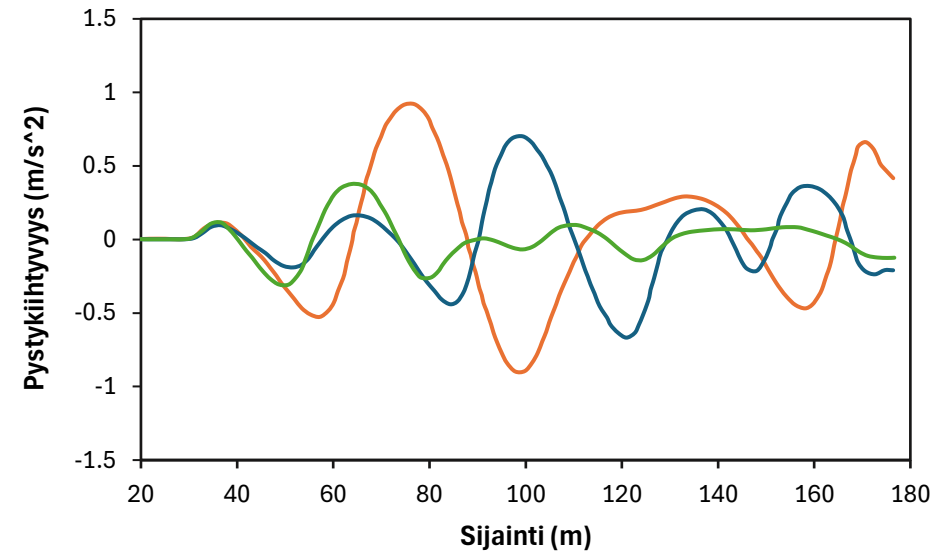
Kaluston kiihtyvyys (200 km/h)



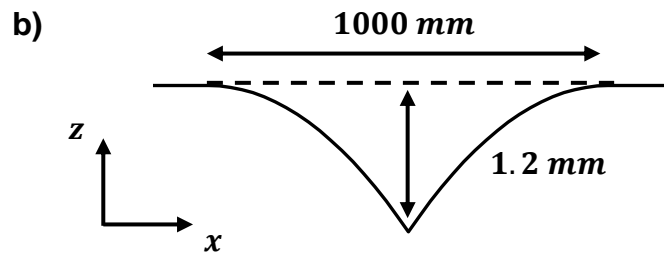
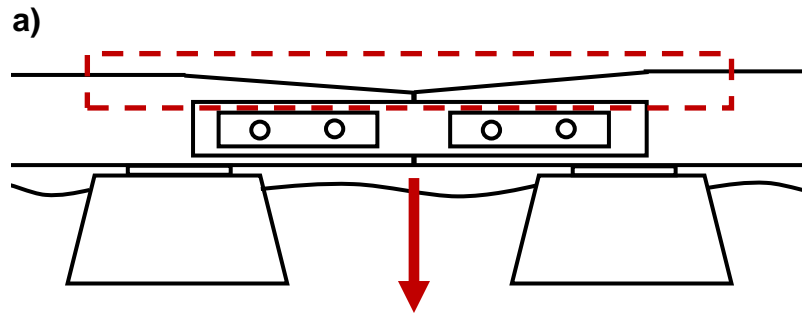
Tulosten mukaisesti erityisesti pohjamaan laajat painumavirheet vaikuttaisivat olevan ongelmallisin virhetyyppi matkustusmukavuuden kannalta.



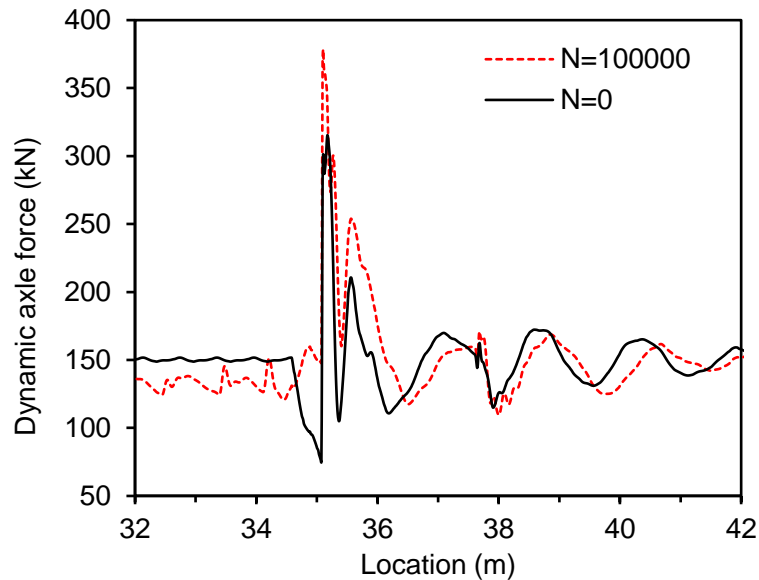
Alusrakenne 600 mm Alusrakenne 1200 mm
Alusrakenne 2000 mm



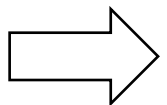
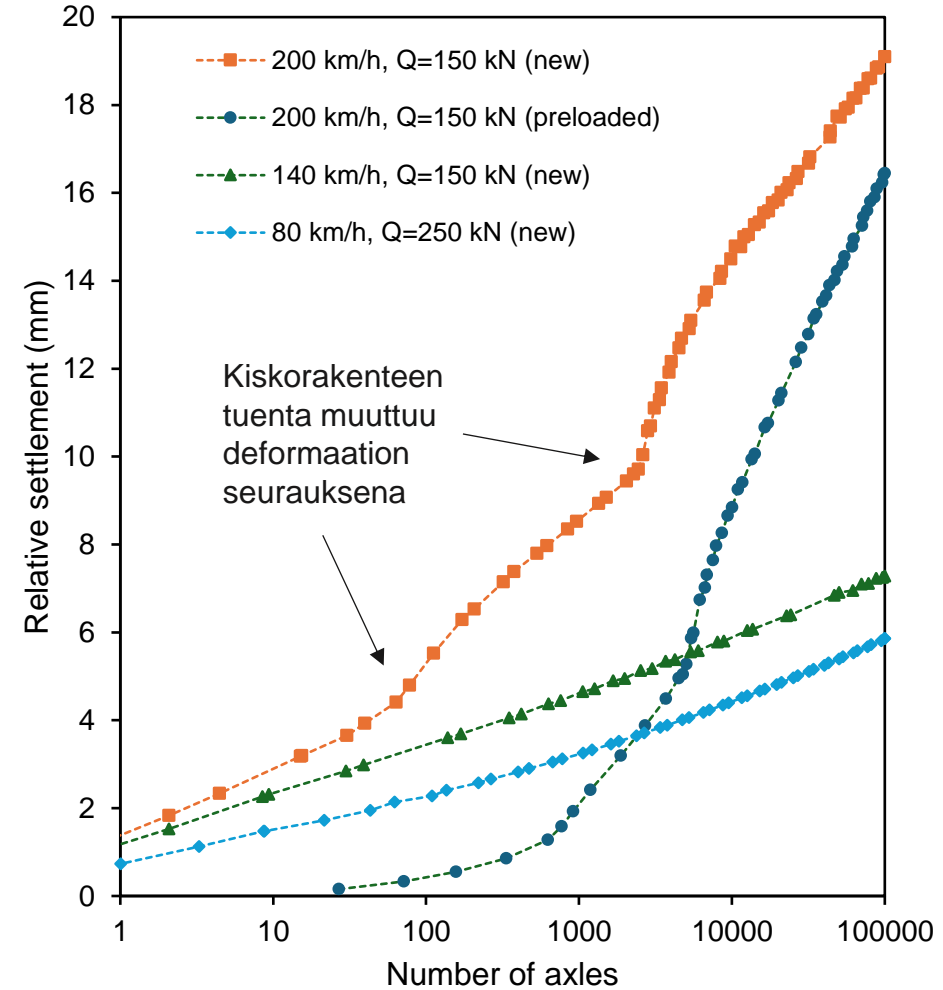
Esimerkki: vaurioitunut eristyskiskojatkos



Dynaamiset akselivoimat ennen ja jälkeen deformaation (200 km/h)



Epätasaisuuden kasvu akselimäärän funktiona



Suurilla ajonopeuksilla kalusto reagoi voimakkaammin radan epätasaisuuksiin. Tällöin kiskoviasta aiheutuva kuormakeskittymä voi laukaista progressiivisen rakennevaurioitumisen, johtuen rakenteen kuormitustason jatkuvaan kasvuun kehittyvän geometriavirheen jyrkkäpiirteisyydestä johtuen (ilmiö siis voimistaa itse itseään).

Yhteenveto

- Sekaliikennöidyillä radoilla kaluston akselipaino vaikuttaisi olevan ensisijainen rakenteen kuormituskestävyyttä ulosmittaava tekijä, varsinkin mikäli rakennekerrosten laatu on riittämätön suhteessa ulkoiseen kuormitukseen.
- Radan epäjatkuvuuskohtien merkitys korostuu erityisesti ajonopeuden kasvaessa. Suurilla ajonopeuksilla jo pienikin virhe raidegeometriassa voi merkittävästi kasvattaa rakenteen dynaamista kuormitusta ja kiihdyttää näin rakenteen paikallista vaurioitumista.
- Ajonopeuden kasvaessa radan epätasaisuuksien merkitys korostuu myös matkustusmukavuuden näkökulmasta. Yleisesti ottaen nopean henkilöliikenteen matkustusmukavuuden kannalta kaikkein ongelmallisempia ovat erilaiset pohjamaan painumavirheet.
- Tulosten perusteella rakenteiden suunnittelussa tulisikin erityisesti kiinnittää huomiota siirtymärakenteiden tekniseen toimivuuteen, jotta radan haitallisten painumaerojen syntymistä voitaisiin ehkäistä.
- Tutkimuksen loppuraportti julkaistaan loppuvuodesta 2025.

Kiitos!

Kysymyksiä? Kommentteja?

marko.peltomaki@tuni.fi