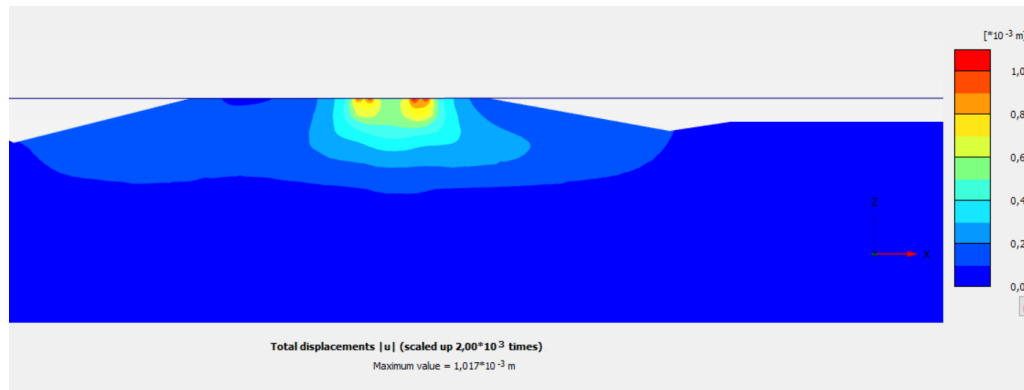
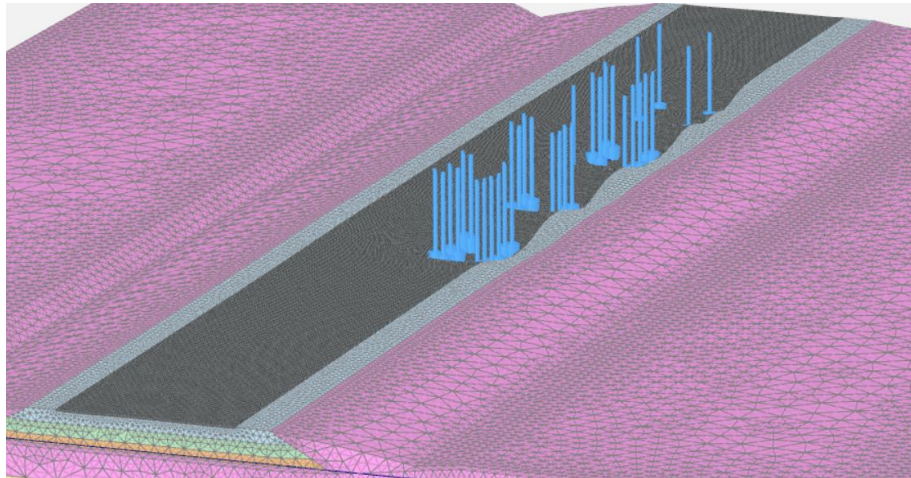


HCT- ja verrokkiyhdistelmien tierasitusmallinnukset - tiivistelmä



Jukka Isometsä, Pauli Kolisoja & Nuutti Vuorimies (Tampereen yliopisto)

23.12.2024

Tutkimuksen tausta ja toteutustapa

- Tampereen yliopisto toteutti vuonna 2022 Karstulassa (Mt 697 to 21) sarjan koekuormituksia, joissa vertailtiin 75-tonnisen 9-akselisen ja 92-tonnisen 12-akselisen ajoneuvoyhdistelmän kuormitusvaikutuksia ohutpäällysteisellä (päällystepaksuus 30 – 40 mm) tiellä (Vuorimies et al. 2023).
- Elementtimenetelmällä (FEM) tehdyt koekuormitusten mallinnukset raportoitiin Jukka Isometsän diplomityöopinnäytteenä vuonna 2024 (Isometsä 2024).
- Tässä tutkimuksessa mallinnustarkasteluja laajennettiin seuraavasti:
 - Mallinnettiin kahta uutta ajoneuvoyhdistelmää (84 tn/10 akselia ja 100 tn/12 akselia) sekä 76-tonnista 9-akselista verrokkiajoneuvoa sen tyypillisillä akselimassoilla
 - FEM-mallinnukset tehtiin kahdelle tiepoikkileikkaukselle: turvepohjamaalla sijaitseva MPL 1 (PL 765) sekä siltti/moreenipohjamaalla sijaitseva MPL 2 (PL 1410)
 - Staattisen kuormitusanalyysi tehtiin siis kaikkiaan viidelle eri ajoneuvoyhdistelmälle: 75 tn/9 aks., 76 tn/9 aks., 84 tn/10 aks., 92 tn/12 aks. ja 100 tn/12 aks. – näistä viimeisimmän 12. akselille mallinnettiin tarkoituksella kuormitusvaikutuksen kannalta epäedullisemmat yksikköpyörät, jotta voitiin arvioida rengaspaineen vaikutusta raskaan ajoneuvoakselin kuormitusvaikutukseen.
 - Tarkasteltavina kuormitusvasteina olivat asfaltin alapinnan vetomuodonmuutokset, kantavan kerroksen pystyjännitykset, pohjamaan puristusmuodonmuutos sekä kantavan kerroksen deviatoriset leikkausmuodonmuutokset
 - Näiden lisäksi vertailtiin eri ajoneuvotyyppien kuormitusvastaavuuskertoimia

Mallinnetut ajoneuvot

75 t (koekuormitusajoneuvo 2022)

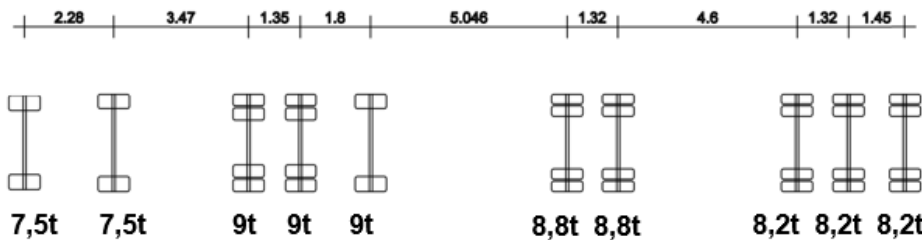


Kuva: Kuljetus Villman Oy



Kuva: Jouko Peltoniemi Oy

84 t



92 t (koekuormitusajoneuvo 2022)



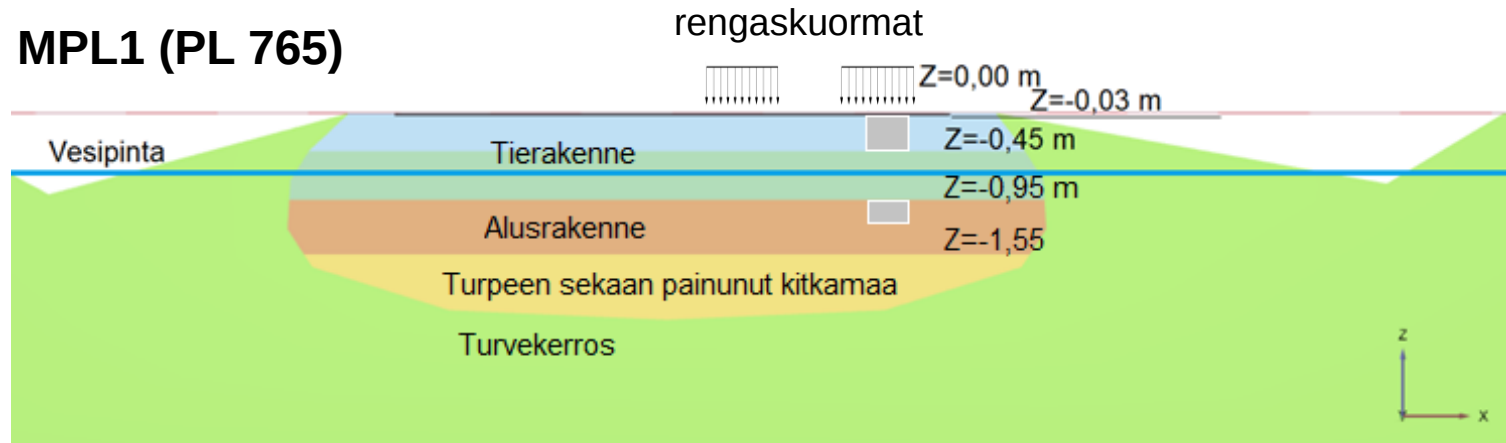
Kuva: Kari Malmstedt Oy



Kuva: Orpe Kuljetus Oy

Mallinnetut tierakenteet – Mt 697 to 21

MPL1 (PL 765)



Deviatoriset vasteet (harmaat laatikot): kantava [-0,04; -0,45] & alusrakenne [-0,95; -1,15]

Tavalliset vasteet: asfaltin alapinta -0,03 m, kantava kerros -0,18 m ja pohjamaa -1,55 m

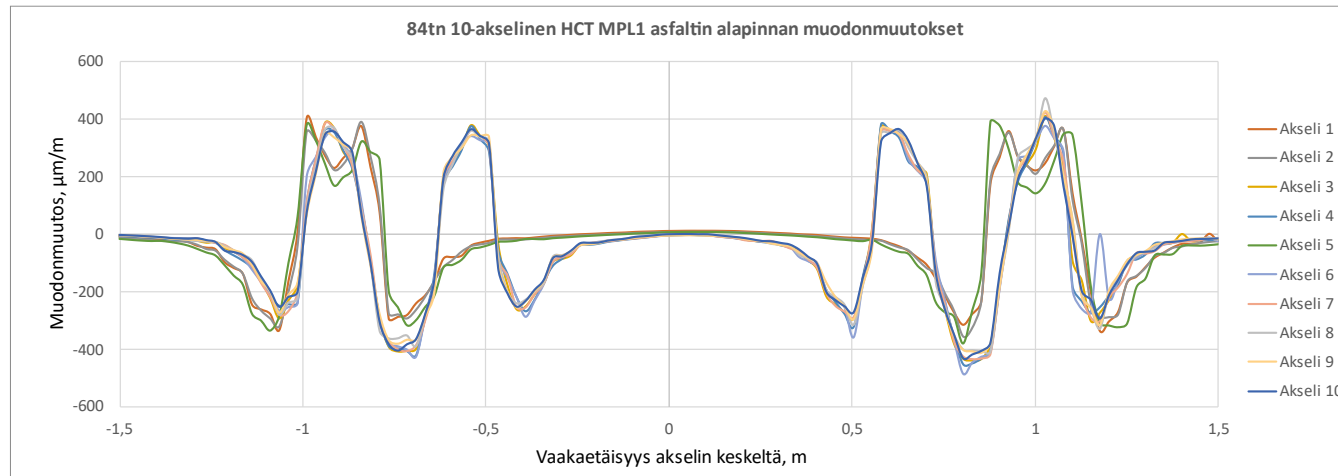
MPL2 (PL 1410)



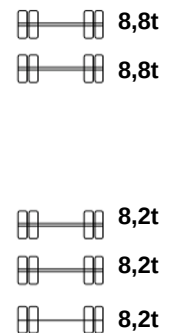
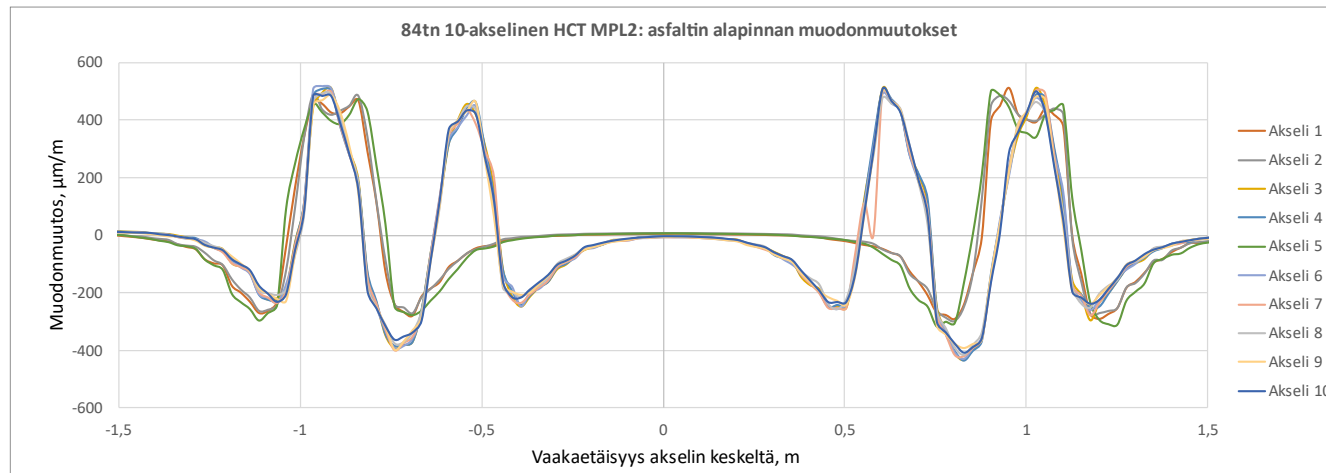
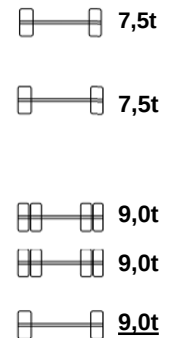
Deviatoriset vasteet (harmaat laatikot): kantava [-0,05; -0,43] & alusrakenne [-0,90; -1,12]

Tavalliset vasteet: asfaltin alapinta -0,04 m, kantava kerros -0,18 m ja pohjamaa -1,22 m

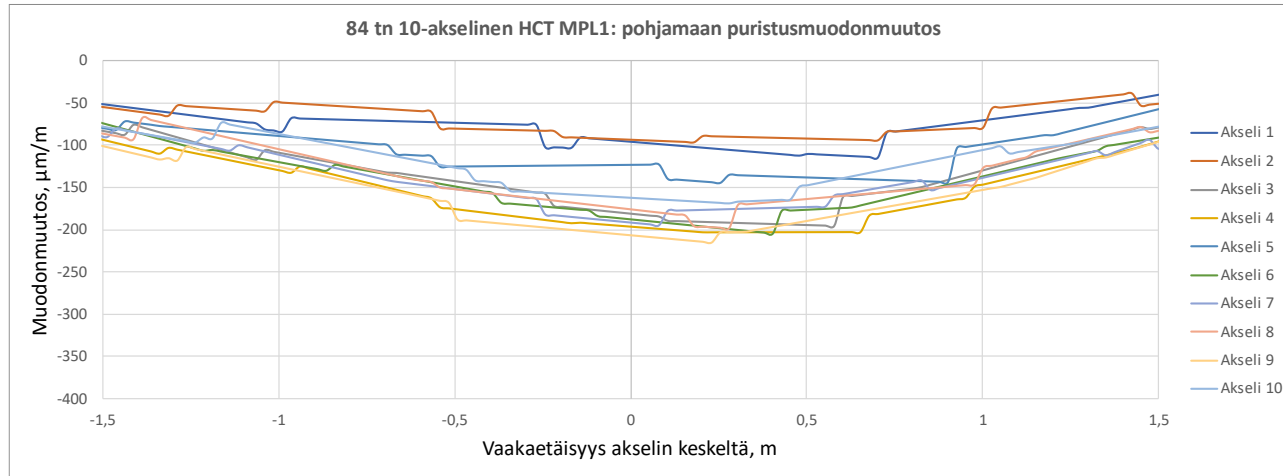
Esimerkki asfaltin alapinnan venymistä -0,03 m (MPL 1) ja -0,04 m (MPL 2) syvyydellä (84 tn, mallinnus 2024)



Akselipainot
ja rengastus



Esimerkki pohjamaan puristusmuodonmuutoksista -1,55 m (MPL 1) ja -1,22 m (MPL 2) syvyydellä (84 tn, mallinnus 2024)



Akselipainot
ja rengastus

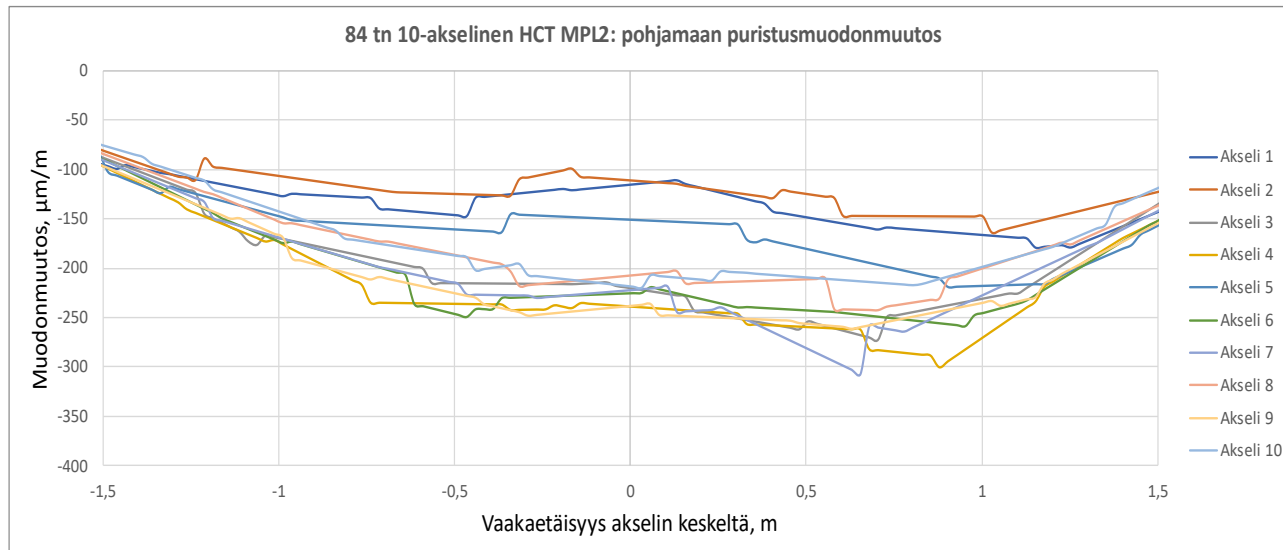
 7,5t

 7,5t

 9,0t

 9,0t

 9,0t



 8,8t

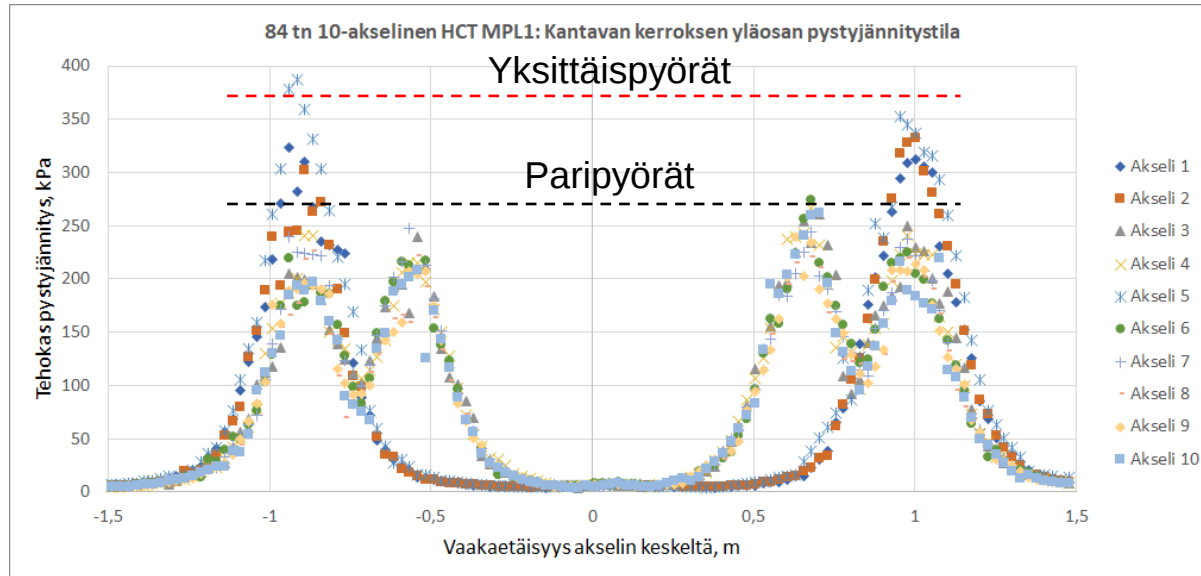
 8,8t

 8,2t

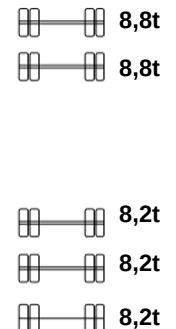
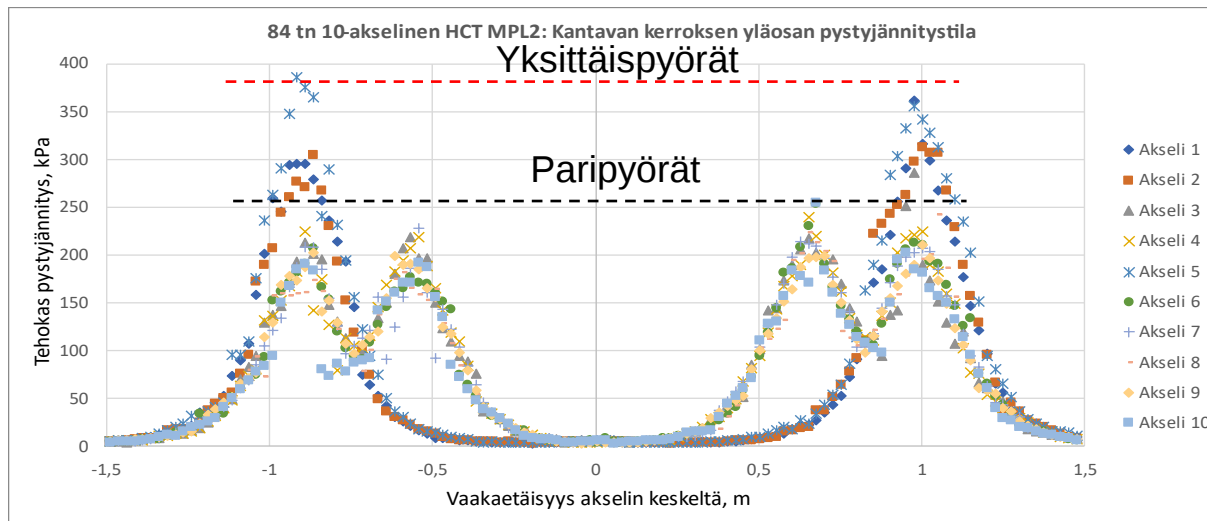
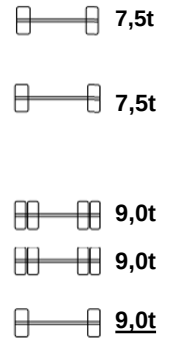
 8,2t

 8,2t

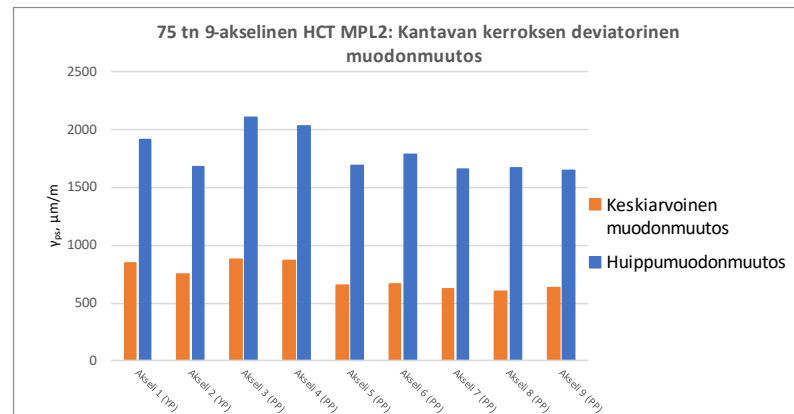
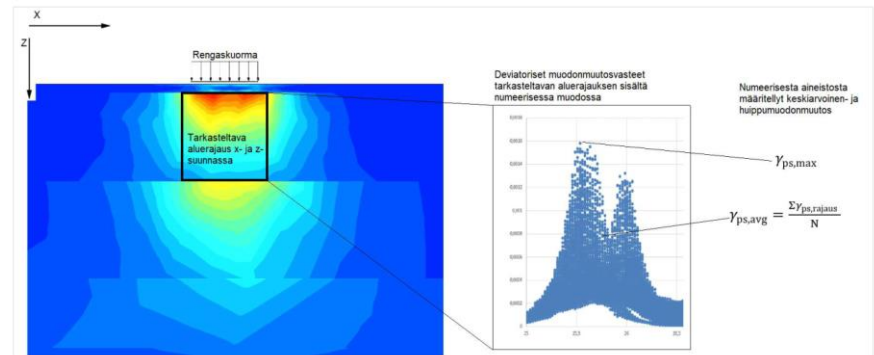
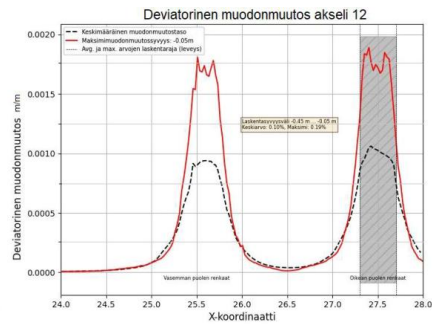
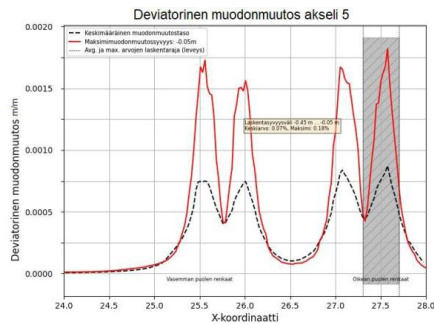
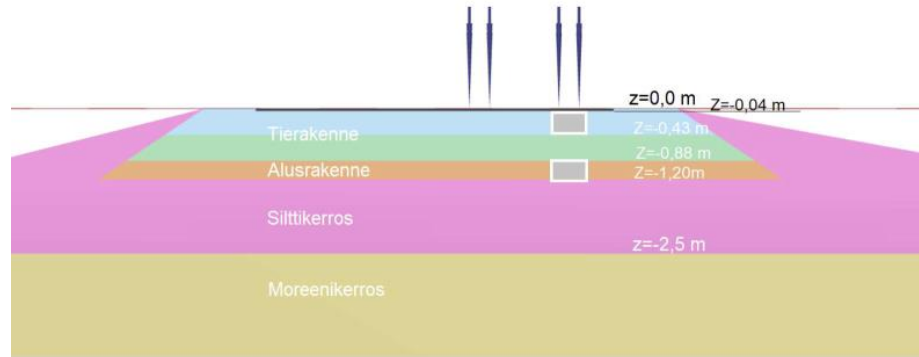
Esimerkki kantavan kerroksen pystyjännityksistä -0,18 m syvyydellä (84 tn, mallinnus 2024)



Akselipainot
ja rengastus

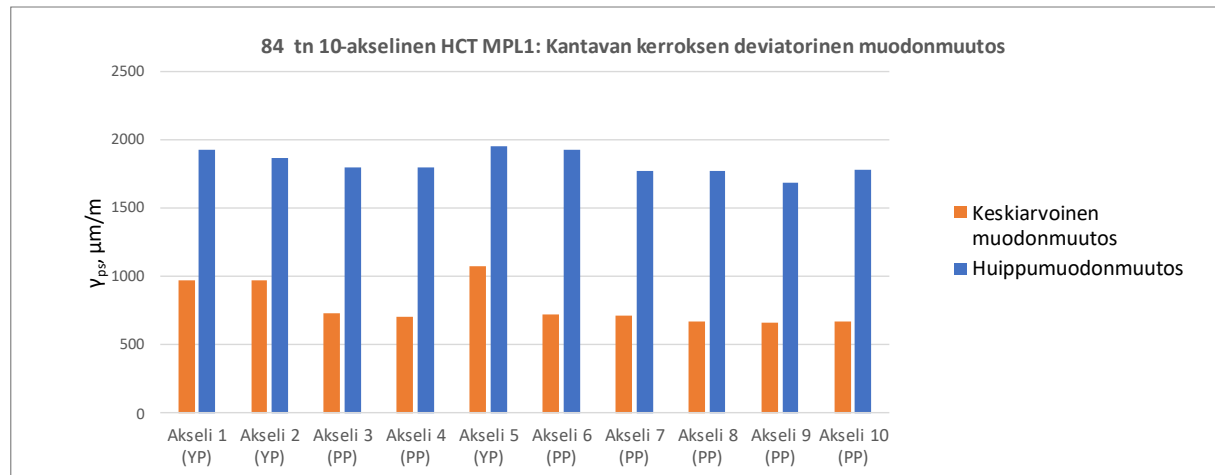


Deviatoristen leikkausmuodonmuutosten käsittely

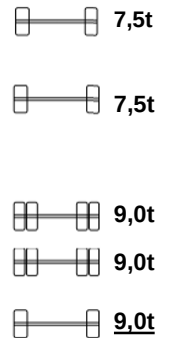


Esimerkki akselikohtaisista kantavan kerroksen deviatorisista muodonmuutoksista (84 tn, mallinnus 2024)

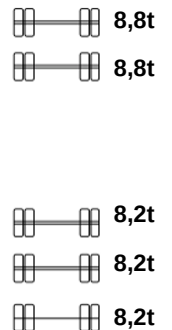
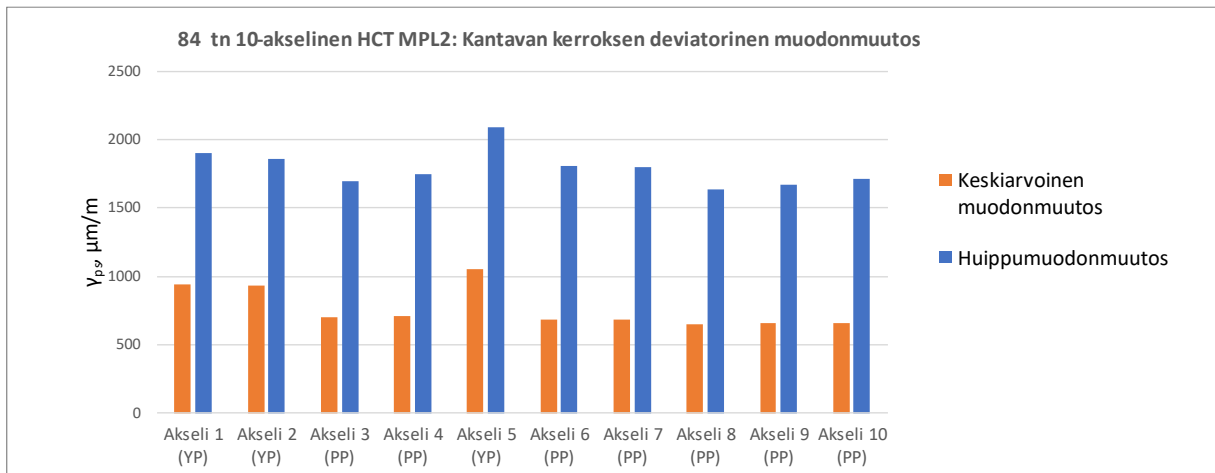
Päällysteen paksuus 30 mm



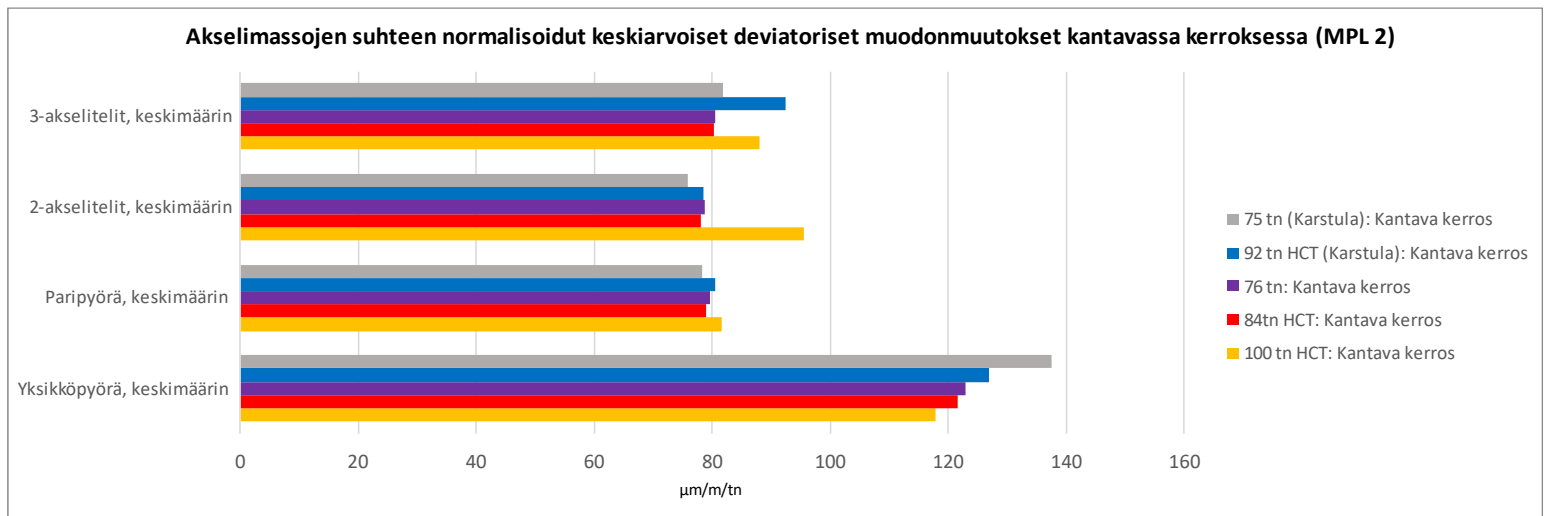
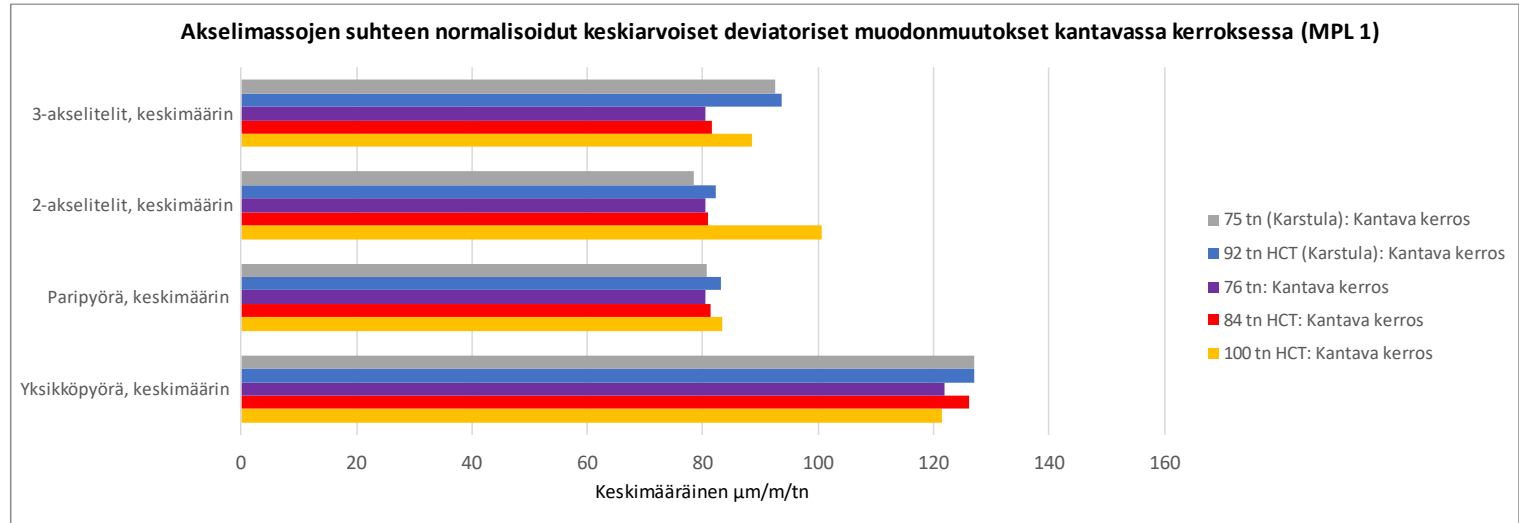
Akselipainot
ja rengastus



Päällysteen paksuus 40 mm



Normalisoidut deviatoriset muodonmuutokset kantavassa kerroksessa



Keskeiset tulokset I

- **Asfaltin alapinnan vetomuodonmuutokset/venymät**

- Vetomuodonmuutosten huippuarvot vaihtelivat suuruusluokaltaan 400-600 $\mu\text{m}/\text{m}$ välillä, eli olivat huomattavan suuria; ne pienenevät kuitenkin jopa lähes 40% 100 tn HCT-rekan 12. akselilla, kun yksikköpyörän rengaspaine aleni 900 $\rightarrow$ 600 kPa:iin.
- Näin ohutpäällysteisellä tiellä oleellisin asfaltin alapinnan venymiin vaikuttava tekijä on rengaspaine, mistä johtuen ajoneuvojen väliset erot eivät ole erityisen selkeitä.

- **Kantavan kerroksen pystyjännitykset ja leikkausmuodonmuutokset**

- Yksittäispyörien aiheuttamat kantavan kerroksen pystyjännitykset olivat selkeästi vastaavalla tavalla kuormitettuja paripyöräakseleista suurempia
- Keskiarvoiset leikkausmuodonmuutokset pysyivät pääsääntöisesti alle 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$, mutta lähellä kantavan kerroksen pintaa muodonmuutoksen huippuarvot ylittivät jopa 2000 $\mu\text{m}/\text{m}$, mikä tarkoittaa huomattavaa nopean urautumisen riskiä.
- Yksittäispyörät aiheuttavat noin 50% suuremman rasituksen kuin paripyörät, kun tarkasteltiin akselimassojen suhteen normalisoituja leikkausmuodonmuutoksia

- **Pohjamaan puristusmuodonmuutokset**

- Rakenteiden paksuudesta johtuen pohjamaan muodonmuutokset olivat varsin maltillisia. Suurimmat arvot havaittiin painavimpien akseleitten ja telien kohdalla, mutta akselikohtaisella rengastuksella ei näyttänyt olevan juurikaan vaikutusta pohjamaan muodonmuutoksiin.
- Pohjamaan muodonmuutos oli turvepohjamaalla MPL 1:ssä suurimmillaan akseleiden keskikohdalla, siltti-/moreenipohjamaalla MPL 2:ssa ajourien kohdalla

Keskeiset tulokset II

- **Deviatorisilla leikkausmuodonmuutoksilla lasketut kuormituksen ekvivalenttikertoimet olivat suurempia kuin AASTHO-teorialla lasketut**
 - AASHTO-laskentatapa on kehitetty paksummille päällysteille; ohuemmillä päällysteillä kantavan kerroksen urautuminen on merkitsevämässä asemassa ja deviatorisiin leikkausmuodonmuutoksiin perustuva tarkastelutapa tunnistaa tämän vaikutuksen huomattavasti AASHTO-teoriaa herkemmin. Ero korostuu raskaasti kuormitetuilla yksittäispyöräakseleilla.
 - Edellä mainitusta syystä varsinkin 100 tn 12-akselinen ajoneuvo, jossa oli viisi yksittäispyöräakselia, sai suurimmat ekvivalenttikertoimet; 76 tn 9-akselisen ajoneuvon raskaasti kuormitettu etuakseli kasvatti vastaavasti sen kuormitus-ekvivalenttikerrointa.
 - Pääsääntöisesti ohutpäällysteisen tien urautumisriskiä painottava ajoneuvokohtainen ekvivalenttikerroin kasvaa ajoneuvon kokonaismassan mukana, mutta rengastuksella ja akselimassojen jakautumalla on mahdollista vaikuttaa kuormitusvaikutukseen.
- **Ajoneuvoyhdistelmästä riippumatta paripyörät ja massan tasainen jakautuminen akseleille ovat tavoiteltavia ominaisuuksia tierakenteen kestävyyskannalta**
- **Kattavammin tutkimuksen tulokset on esitelty Powerpoint-raportissa: Isometsä, Kolisoja & Vuorimies (2024)**

Mahdollisia jatkotutkimusnäkökulmia

- **Asfalttipäällysteen paksuuden muuttaminen**
 - Kuinka päällysteen paksuntaminen pienentää kantavan kerroksen deformaatoriskiä, tai kuinka päällystepaksuuden lisäyksellä voidaan kompensoida heikkolaatuista kantavaa kerrosta?
- **Päällysrakennekerrosten ominaisuuksien muuttaminen**
 - Laadultaan heikompien päällysrakennekerrosten mallintaminen ja vuodenaikaisvaihteluiden huomioiminen tierakenteen lujuus- ja muodonmuutospaarametreissa; rakennemalli oli nyt kalibroitu alkukesällä tehtyjen koekuormitusten tuloksia vastaavaksi
 - Ohuemman päällysrakenteen mallintaminen heikosti kantavalla pohjamaalla
- **Erilaisten akselistoyhdistelmien ja rengastyypin laajemmat mallinnukset**
 - Telimassan erilaiset jakautumat paripyörä- ja yksikköpyöräakseleille
 - Akselivälien variointi
 - Erilaiset rengaspaineet erilaisten rengastyypin mukaan jne.
- **Liikkuvan ajoneuvokuormituksen vaikutusta kuvaavien dynaamisten mallien sekä märän turvopohjaan käyttäytymistä todenmukaisemmin kuvaavien materiaalimalien kehittäminen/hyödyntäminen**

Lähteet

1. Isometsä, J. (2024) Raskaan liikenteen kuormitusvasteiden mallintaminen. Diplomityö, Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/155139>
2. Isometsä, J., Kolisoja P. & Vuorimies, N. (2024) HCT- ja verrokkiyhdistelmien tierasitusmallinnukset. Raportti, Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta.
3. Vuorimies, N., Varin, P. & Kolisoja, P. (2022) Ohutpäällysteisen tierakenteen rasittumisen vertailututkimus 2022. Väylävirasto. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/187847/vj_2023-59_978-952-405-102-6.pdf?sequence=1&isAllowed=y