

# **Tierasitukset tieverkossa – HCT- ja muiden puunkuljetusyhdistelmien vaikutusten vertailu**

Veikko Pekkala



# Sisältö

- Tarkoitus
- Mittauskohteet (tieosuudet)
- Ajoneuvoyhdistelmät
- Suoritetut mittaukset
- Ajoneuvokohtaiset tulokset
- Tietyypikohtaiset tulokset
- Suositukset mittaustulosten perusteella
- Suositukset kirjallisuustutkimuksen perusteella
- Jatkotutkimukset



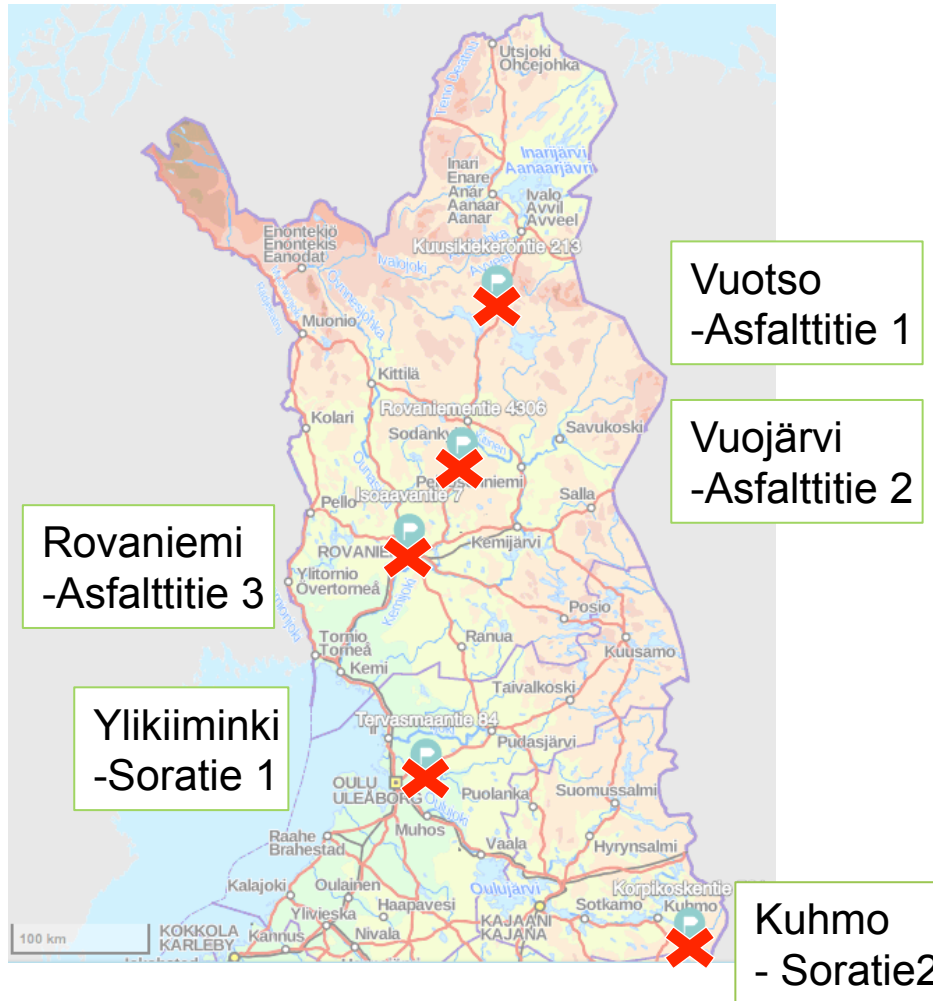
# Tarkoitus

- Tutkimuksen tarkoituksena on verrata referenssi- ja HCT-puunkuljetusyhdistelmien tien rakenteisiin aiheuttamien vasteiden ja muodonmuutosten suuruuksia keskenään
- Lisäksi tutkimuksen tarkoituksena on arvioida yhdistelmien aiheuttamaa tierasitusta kyseiselle tielle/tietyypille
- Tarkastelu on tarkoitus tehdä lähtökohtaisesti yhdistelmittäin ja mahdollisuuksien mukaan akseleittain.

**Muita käynnissä olevia tutkimuksia:  
Tampereen teknillisen yliopiston ja  
Roadscanners Oy:n tierasitustutkimus  
Liikennevirastolle.**



# Mittauskohteet



## – Vuotso (Asfalttitie1)

- Vähäliikenteinen tie
- Ohut päällysterakenne
- Turvepohjamaa

## – Vuojärvi (Asfalttitie2)

- Varalaskupaikka
- Vilkasliikenteinen tie
- Erittäin vahva rakenne
- Kitkapohjamaa

## – Rovaniemi (Asfalttitie3)

- Vilkasliikenteinen tie teollisuusalueella
- Vahvistettu pohjamaa

## – Ylikiiminki (Soratie1)

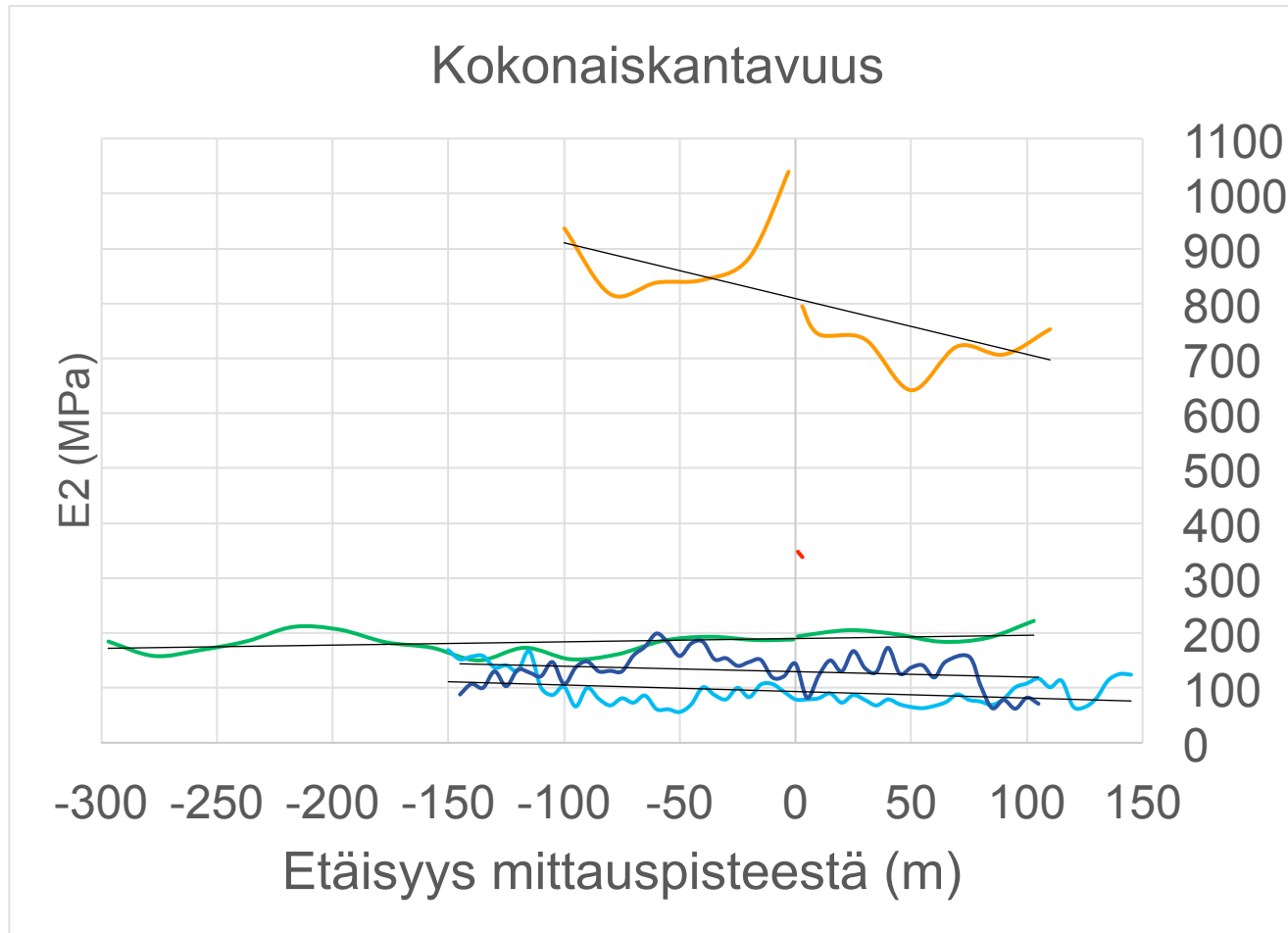
- Turvemaalle perustettu soratie

## – Kuhmo (Soratie2)

- Metsähallituksen soratie



# Teiden kokonaiskantavuus, E2 (MPa)



Kokonaiskantavuus E2 (Mpa = MN/m <sup>2</sup> )	Keskiarvo mittaus-suoran matkalla	Mittauspisteen kohdalla
Vuojärvi	800	900
Rovaniemi	343	290
Vuotso	184	190
Ylikiiminki	132	100
Kuhmo	94	79

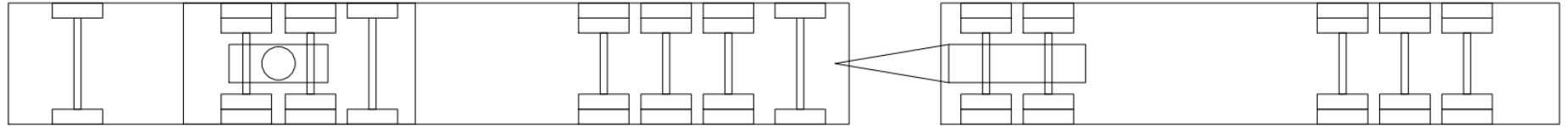
Kantavuus mitattu pudotuspainolaitteella (KUAB) mittaus-suoran matkalta 5-25 metrin välein.

Tien kokonaiskantavuus osoitetaan paineena. Yksikkö on MegaPascal:ia = MegaNewton:ia neliömetriä kohti.

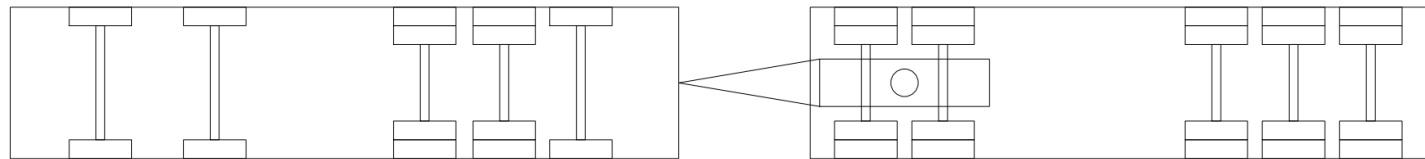


# Ajoneuvoyhdistelmien akselirakenteet

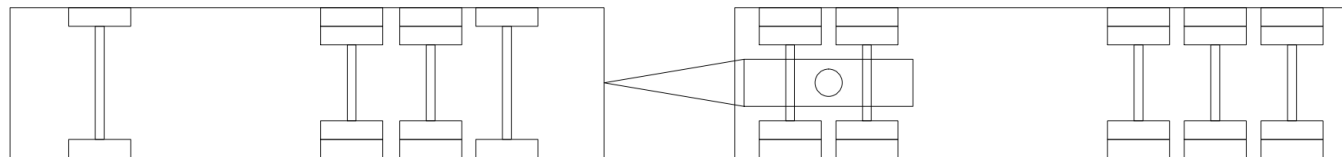
13-akselia: Ketosen Kuljetus Oy



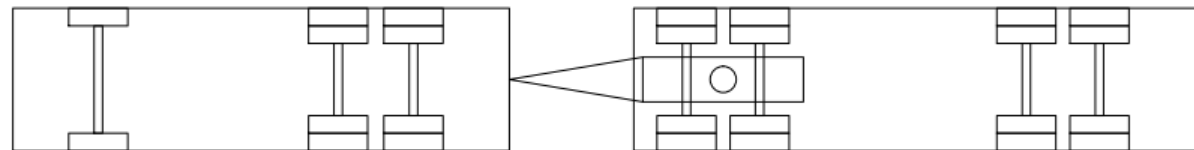
10-akselia: P&A Trans Oy, O Malinen Oy



9-akselia: O Malinen Oy



7-akselia: Lapin ammattiopisto (LAO), Oulun seudun ao. (OSAO), Kainuun ao. (KAO)



Huom: mittauksissa käytetyissä 7-akselisissa yhdistelmissä oli kuvan mukaisesti yksikköpyörät vain ohjaavassa akselissa.



# Nettokuormat ja nettokuormien suhdeluvut

- Vuojärvi ja Vuotso: Vain 7-akselisessa yhdistelmässä oli nosturi ja se sisällytettiin yhdistelmän nettokuormaan
- Ylikiiminki ja Kuhmo: kaikkien yhdistelmien nosturit sisällytetty painoon tyhjänä.

VUOJÄRVI		Paino mittauspäivänä kuormattuna (kg)	Kuorman nettopaino (kg)	Nettopainon suhde	
HCT: 13-ax (4ax-ka+4ax-pk+5ax-pk) 104 t	Ketosen Kuljetus Oy	103500	74080	1,7	1,2
HCT: 10-ax (5ax-ka-5ax-pk) 84 t	P&A Trans Oy	84000	62270	1,4	1,0
7-ax (3ax-ka+4ax-pk) 64 t	Lapin ammattiopisto (LAO/REDU)	<u>64220</u>	44260	1,0	-

alleliivattu = nosturi (3500 kg) nupissa lisätty nettokuormaan

VUOTSO		Paino mittauspäivänä kuormattuna (kg)	Kuorman nettopaino (kg)	Nettopainon suhde	
HCT: 13-ax (4ax-ka+4ax-pk+5ax-pk) 104 t	Ketosen Kuljetus Oy	104000	74580	1,7	1,2
HCT: 10-ax (5ax-ka-5ax-pk) 84 t	P&A Trans Oy	84300	62570	1,4	1,0
7-ax (3ax-ka+4ax-pk) 64 t	Lapin ammattiopisto (LAO/REDU)	<u>64360</u>	44400	1,0	-

alleliivattu = nosturi (3500 kg) nupissa lisätty nettokuormaan

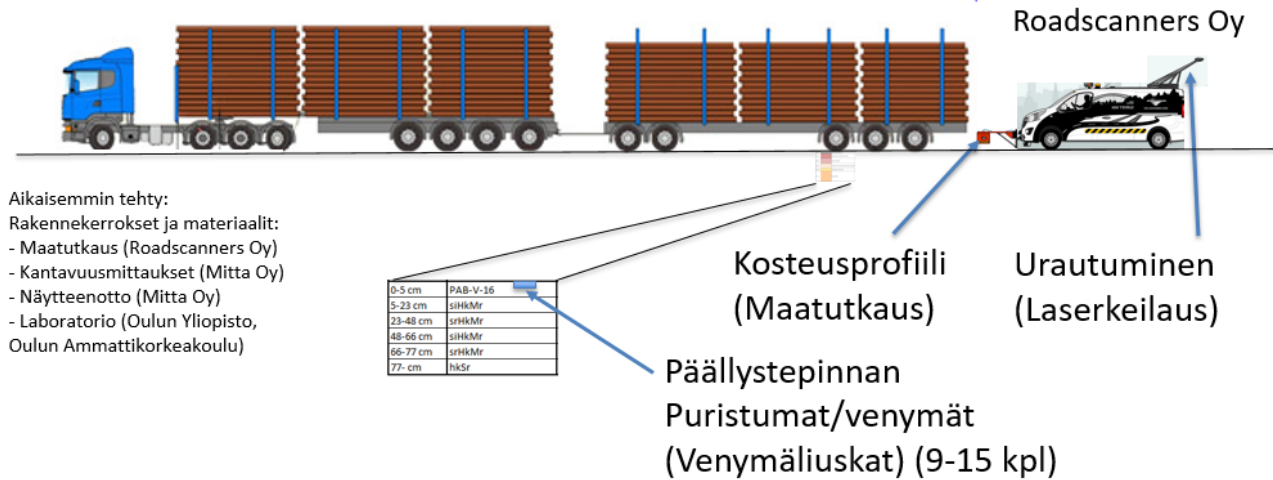
YLIKIIMINKI		Paino mittauspäivänä kuormattuna (kg)	Kuorman nettopaino (kg)	Nettopainon suhde	
HCT: 10-ax (5ax-ka-5ax-pk) 84 t	O Malinen Oy	82820	56520	1,7	1,1
9-ax (4ax-ka-5ax-pk) 76 t	O Malinen Oy	76080	49280	1,5	1,0
7-ax (3ax-ka+4ax-pk) 60 t	Oulun seudun ammattiopisto (OSAO)	57080	33580	1,0	-

KUHMO		Paino mittauspäivänä kuormattuna (kg)	Kuorman nettopaino (kg)	Nettopainon suhde	
HCT: 10-ax (5ax-ka-5ax-pk) 84 t	O Malinen Oy	83060	56760	1,5	1,2
9-ax (4ax-ka-5ax-pk) 76 t	O Malinen Oy	74820	48020	1,2	1,0
7-ax (3ax-ka+4ax-pk) 60 t	Kainuun ammattiopisto (KAO)	61120	38420	1,0	-

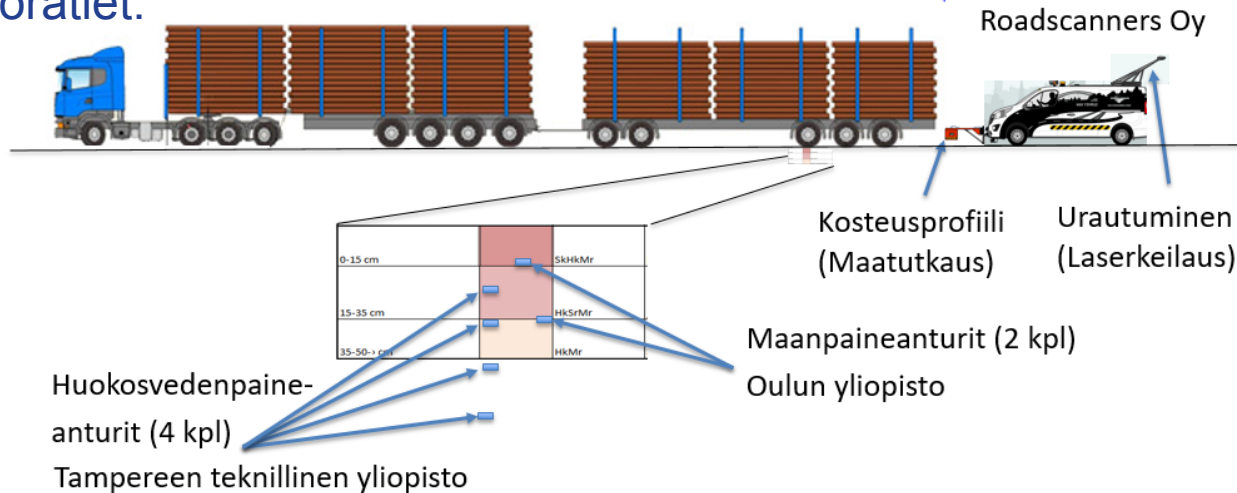


# Mittaukset

## Päällystetiet:



## Soratiet:



- Rovaniemeä lukuun ottamatta kussakin mittauskohteessa järjestettiin mittauspäivä, jonka aikana mittauksiin osallistuvat puutavarayhdistelmät ajoivat mittaussuoran ennalta määrätyin väliajoin (10-20 min) useampaan kertaan (8-10 ylitystä/yhdistelmä, yhteensä 24-30 ylitystä) ennalta määrättyllä keskinopeudella (10-80 km/h). Oikean ajolinjan varmistamiseksi tiehen oli maalattu ajolinjaviiva mittauspisteen kohdalle.
- Tien rasitusta kasvatettiin mittauspäivän aikana laskemalla keskinopeutta ja tihentämällä yliajojen välistä aikaa.
- Lisäksi asfalttatiekohteissa ajettiin ”maksimikuorma” kolmen peräkkäin ajavan yhdistelmän muodostamana jonona (yhteensä 30 akselia).
- Poikkeuksena oli Rovaniemi, jossa kesän aikana jatkuvatoimisesti mitattiin venymäliuskoilla kaikkea mittauspisteen ohi menevää liikennettä. Yhteensä raskaan liikenteen mittaustuloksia kirjattiin noin 350, joista analysoitiin 96.





# Tulokset ja johtopäätökset

- **Mittauksissa havaittiin eroja tien pinnan painuman ja urakehityksen ja kosteusprofiilin kehittymisen osalta. Eroihin vaikuttivat mm.:**
  - Pohjamaa (myös mm. pohjamaan vaihtuminen)
  - Tien rakenteiden materiaaliominaisuudet ja paksuudet (vaihtelut varsinkin sorateilla)
  - Tien rakenteiden tiiviys (mm. pintakäsittely sorateilla)
  - Ympäristöolosuhteet (mm. päällysteen lämpötila päällystetyillä teillä, rakenteiden kosteus)
  - Ajonopeus (rasitusaika)
  - Ajolinja (perässä tulevat renkaat tasoittavat edellisten aiheuttamat urat)



# Tietyyppikohtaiset tulokset

- **Mittauskohteiden mittauspisteissä ei havaittu mittauspäivän olosuhteissa pumppautumisilmiötä tien rakenteissa.**
- **Päällystetyt tiet: Mittausolosuhteissa erityisen paksupäällysteisessä ja rakenteisessa tiessä yhdistelmien eroavaisuuksilla ei näyttäisi olevan niin suurta vaikutusta vasteisiin kuin ohutpäällysteisellä tiellä. Mittausolosuhteissa ohutpäällysteisessä, –rakenteisessa ja turvemaalle rakennetulla tiellä vasteet ja vasteerot sen sijaan ovat selvempiä.**
- **Soratiet: Mittaukset olivat haastavampia suorittaa kuin päällystetyillä teillä, mm. tien rakenteet ja alusmaan vaihtelut voivat olla merkittäviä lyhyelläkin matkalla. Mittaussuoran matkalla oli selvästi huonompia kohtia kuin mittauspiste ja todennäköisesti nämä kohdat vaurioituvat huonoissa olosuhteissa nopeammin kuin mittauspisteen kohta.**



# Ajoneuvokohtaiset tulokset

- Mittaustulosten perusteella riippuvuuksia yksittäisten ajoneuvoyhdistelmien (7-, 9-, 10- ja 13-akseliset) ja niiden aiheuttaman tien urakehityksen tai kosteusprofiilin muutoksien välille ei pystytty määrittämään (vaatii tarkempaa tutkimusta).
- Sorateillä huokospainemittaustulosten perusteella eroja 7-akselisen ja 9/10-akselisten välillä olivat todennettavissa mittauspäivän olosuhteissa ajettaessa erittäin hitaasti (10 km/h) samoja ajolinjoja.
- Kokonaisuutena käytetyillä mittaamenetelmillä ei 9- ja 10-akselisen yhdistelmän välille saatu merkittäviä eroja (vaatii tarkempaa tutkimusta).



# Tulokset: Nettokuormiin suhteutettu hetkellinen ”kuopan tilavuus”

- Alla on verrattu eri ajoneuvoyhdistelmien tiehen hetkellisesti aiheuttama ”kuopan tilavuuksia” (ilman hakasulkuja) ja suhteutettuna yhdistelmien nettokuormiin (hakasuluissa):

Eri yhdistelmien ylitysten tiehen aiheuttaman ”kuopan tilavuus” suhteuttuna nettokuormaan ja [ilman suhteutusta nettokuormaan]:													
VUOTSO	60 km/h	40 km/h	VUOJÄRVI	80 km/h	60 km/h	40 km/h	YLIKIIKINKI	13 cm	39 cm	KUHMO	16 cm	41 cm	
13ax/7ax	0,8 [1,4]	0,9 [1,4]	13ax/7ax	0,8 [1,3]	0,8 [1,4]	0,7 [1,1]	10ax/7ax	1,8 [3,0]	2,9 [4,9]	10ax/7ax	1,4 [2,1]	1,6 [2,3]	
10ax/7ax	0,9 [1,2]	0,9 [1,3]	10ax/7ax	0,8 [1,2]	0,8 [1,1]	0,7 [1,0]	9ax/7ax	x)	x)	9ax/7ax	2,2 [2,8]	1,7 [2,1]	
13ax/10ax	0,9 [1,1]	0,9 [1,1]	13ax/10ax	0,9 [1,1]	1,1 [1,3]	1,0 [1,1]	10ax/9ax	x)	x)	10ax/9ax	0,8 [0,9]	0,9 [1,1]	

HUOM1: Suhdelukua ei kuitenkaan voi käyttää sellaisenaan osoittamaan yhdistelmien kuormitusvaikutuksia, koska ”kuopan syvyydelle” ei ole määriteltyä vauriokerrointa.

HUOM2: Päälysteteiden (Vuotso, Vuojärvi) ja sorateiden ”kuopan tilavuudet” on laskettu eri menetelmällä joten luvut eivät ole vertailukelpoisia keskenään.

X) Ylikiimingissä 9-akselisen mittaukset epäonnistuivat.

- **Suhdelukuja ei voi käyttää sellaisenaan osoittamaan yhdistelmien kuormitusvaikutuksia tien rakenteisiin koska ”kuopan syvyydelle” ei ole määritelty vauriokerrointa.**

”kuopan tilavuus” on laskettu päälystetyissä teissä tien pinnassa olevan venymäliuskakentän ylitysten aikaisista venymä-puristuma-mittaustuloksista laskettu kolmiulotteinen ”tilavuus” joka ottaa ylityksajan huomioon. Sorateissa ”kuopan tilavuus” on laskettu tien päällysrakenteissa kahdella syvyydellä olevien Maanpaineantureiden mittaustuloksista laskettu ”tilavuus”, joka myös ottaa ylityksajan huomioon.



# Suosituksset mittaustulosten perusteella

- Tulosten perusteella voidaan sanoa, että HCT-yhdistelmien ja niiden kuljetusten suunnittelussa kannattaisi kiinnittää huomiota ainakin ajokäyttäytymiseen sorateilla. Yhdistelmien tulisi ajaa tietä pitkin suhteellisen nopeasti mutta kuitenkin välttäen aiheuttamasta liikaa dynaamista kuormitusta. Lisäksi tiellä pysähtymistä pitäisi välttää samoin kuin samoilla ajolinjoilla (ajourilla) ajamista.



# Suosituksset kirjallisuustutkimuksen perusteella

Projektin lopuksi suoritettiin lyhyt kirjallisuuskatsaus tutkimusalueella sorateiden osalta vireillä olevista tutkimuksista ja pohdinnoista, lähinnä Skandinaviassa. Katsauksen perusteella HCT-yhdistelmien ja niiden kuljetusten suunnittelussa kannattaisi kiinnittää huomiota mm. seuraaviin asioihin:

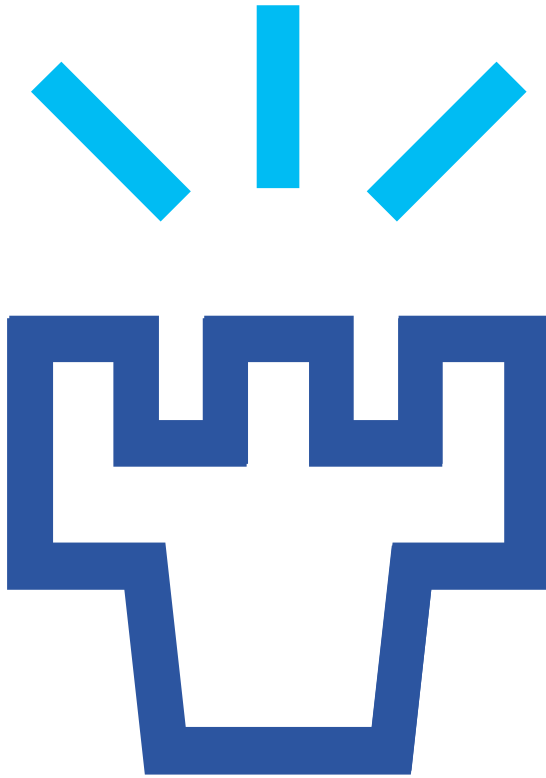
- CTI:n eli rengaspaineiden säätöjärjestelmän yleisempään käyttöön (Lähde: Ruotsi, Skogforsk/Mikael Bergqvist): mm. Matalampi rengaspaine vähentää tierasitusta ja urautumista
- Ajojen oikeaan ajoitukseen (Lähde: Metsäteho/Pirjo Venäläinen): Esim. leimikoille kuormien karkea ajoittuminen (tukit ensin, kuitu myöhemmin ja energiapuu aivan viimeiseksi). Uuden teknologian hyödyntäminen osaksi suunnittelua ja päätöksentekoa
- Kuormien/ajojen väliin jäävään minimiaikaan (Lähde: Ruotsi, Suomeen erona erillisen kuormaajan käyttö): Tarkoituksena olosuhteista ja tien vahvuudesta riippuen antaa tien rakenteille aikaa palautumiseen ajojen yhteydessä.
- HCT-yhdistelmien käyttöön talviaikaan (Lähde: Kanada, Metsähallitus/Ari Siekkinen): Tiet kestää rasitusta paremmin tierungon ollessa jäässä. Voisiko 84-tonnisten 5+5 akselisten yhdistelmien käyttö sallia silloin?



# Jatkotutkimukset

- Tarkempi 76 ja 84-tonnisten aiheuttamien vasteiden/pysyvien muodonmuutosten ja sitä kautta yhdistelmien nettokuorman suhteutetun tierasituseron määrittäminen sekä päällyste- että sorateilla vaatisi suuren määrän pitkäaikaista testaamista vaihtelevissa ympäristöolosuhteissa (kuivakausi, sadekaus, kelirikko). Lyhyillä testaustapahtumilla on pysyvien muodonmuutosten mittaaminen erittäin haasteellista.
- Testaustapahtumat pitäisi olla vähintään kaksipäiväisiä siten, että ensimmäisenä päivänä ajettaisiin pelkästään 76-tonnisella ja toisena päivänä pelkästään 84-tonnisella yhdistelmällä.
- Uusimman teknologian mahdollisuuksia (esim. reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, RTK GNSS) voisi hyödyntää ainakin antureiden osalta (mm. pystysuuntaisten/sivusuuntaisten siirtymien mittaamisessa).
- Mittauksissa voisi mitata myös CTI-järjestelmän vaikutusta eri olosuhteissa.
- Surfacing Thickness Program (STP)-menetelmän \*) soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin voisi validoida.

\*) Lähde: Validering av STP-Surfacing Thickness Program för svenska förhållanden



**OULUN  
YLIOPISTO**