

Kasvavat ajoneuvopainot ja sorateiden kuormituskestävyys

Soratiepäivä 16.5.2019 Jyväskylä

Prof. Pauli Kolisoja

Esityksen sisältö

- Muutokset tierakenteisiin kohdistuvissa rasiustekijöissä
- Soratierakenteiden ominaispiirteet ja vaurioitumismekanismit
- Havaintoja raskaiden rekkojen kuormituskokeista Ranualla ja Inarissa
- Soratien kuormituskestävyyden arviointi ääriolosuhteissa
- ROADEX-projekti soratietiedon lähteenä
- Kelirikkoisten sorateiden vahvistusratkaisut
- Soratien kuormituskestävyyden laskennallinen arviointimenettely
- Raskaiden ajoneuvojen rengastuksen vaikutus
- Keinot sorateiden suojaamiseen vaurioitumiselta



Uusi ajoneuvoasetus 1.10.2013

Asetuksen mukanaan tuomat keskeiset muutokset:

- Ajoneuvoyhdistelmän kokonaispaino 60 t → 76 t
(65% perävaunun massasta paripyörillä)
- Kaksiakselinen akseliyhdistelmä 19 t → 21 t
- Kolmiakselinen akseliyhdistelmä 24 t → 27 t
- Sallittu korkeus 4,2 m → 4,4 m

Siirtymäaikana (5 v) sallittiin vanhalle kalustolle:

- 7 -akselinen yhdistelmä 60 t → 64 t
- 2 –akselinen auto 18 t → 20 t
- 3 –akselinen auto 26 t → 28 t

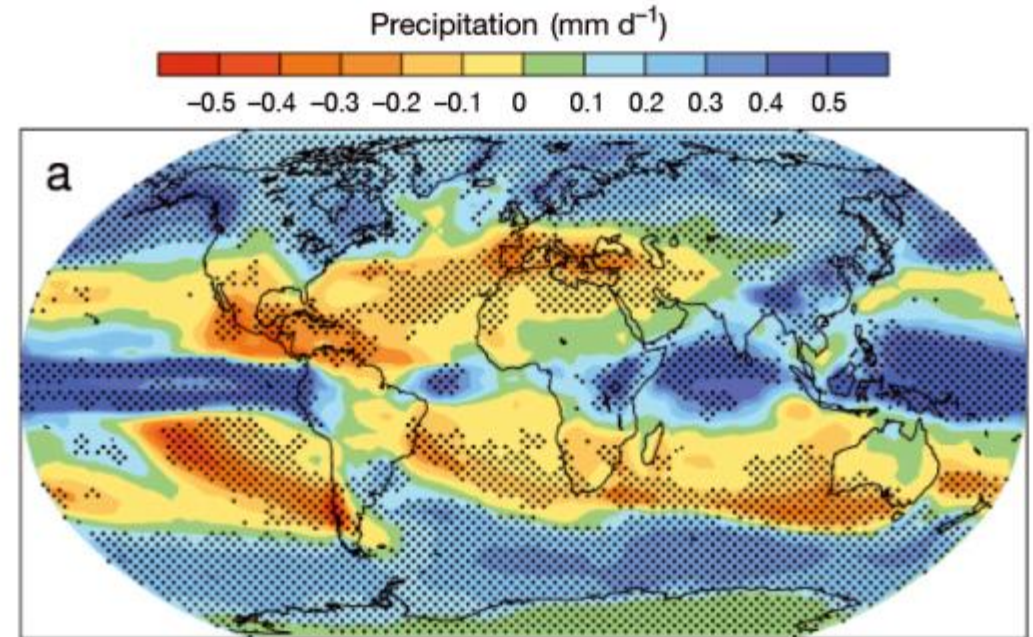
Lisäksi rajatuille reiteille jopa > 100 t painoiset ”tiejunat” – ei koske kuitenkaan sorateitä



Ilmastonmuutoksen vaikutukset soratiestölle

Ennakoidut ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat sorateiden kannalta voittopuolisen haitallisia:

- Sademäärien kasvu lisää tierakenteiden kosteusrasitusta
- Sula kausi pitenee → syyskelirikon esiintyminen yleistyy
- Pakkaskausien lyhenemisen lisäksi ne muuttuvat epäsäännöllisemmiksi → yhden jäätymis-sulamissyklin asemesta vuoden aikana saattaa esiintyä useampi 'kelirikkovaihe'



Trenberth KE (2011) Changes in precipitation with climate change. *Climate Research* 47, 123 – 138. doi:10.3354/cr00953

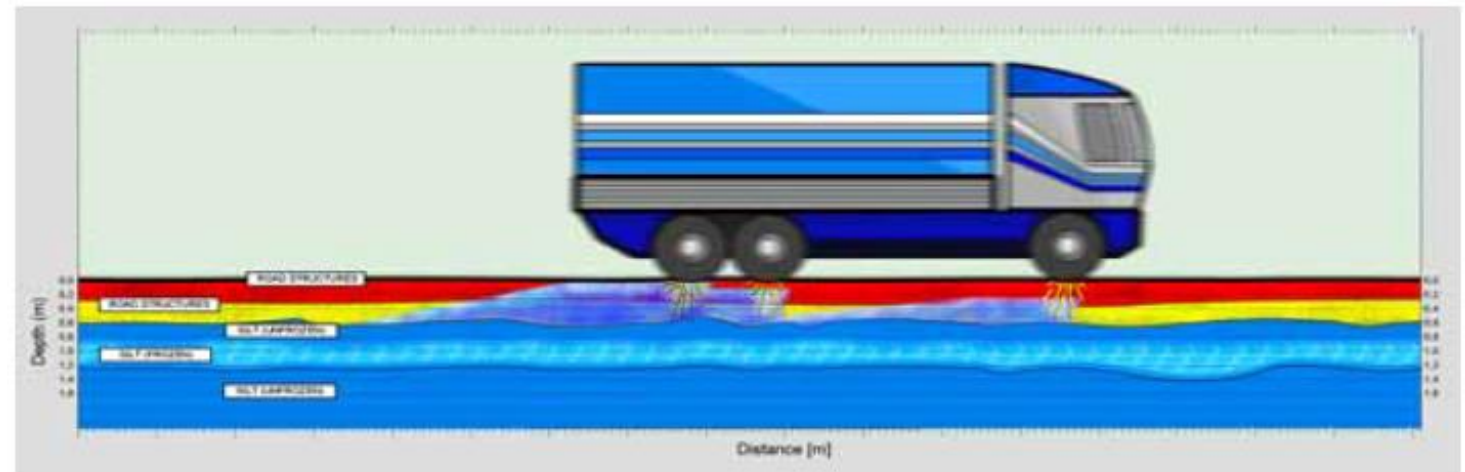
Sorateiden rakenteelliset ominaispiirteet

- Ohuet rakennekerrokset; merkittävä osa sorateistä nk. rakentamattomia teitä
 - kelirikkoaikaan ja myös muina märkinä vuodenaikoina raskaitten ajoneuvojen kuormitusvaikutus erittäin suuri suhteessa rakenteiden kestävyYTEEN
 - rakennekerrosten ja pohjamaan sekoittuminen
 - ojien tukkeutuminen ja tien poikkileikkauksen leveneminen
- Sivuojiin ja liittymärumpuihin liittyvät kuivatusongelmat yleisiä



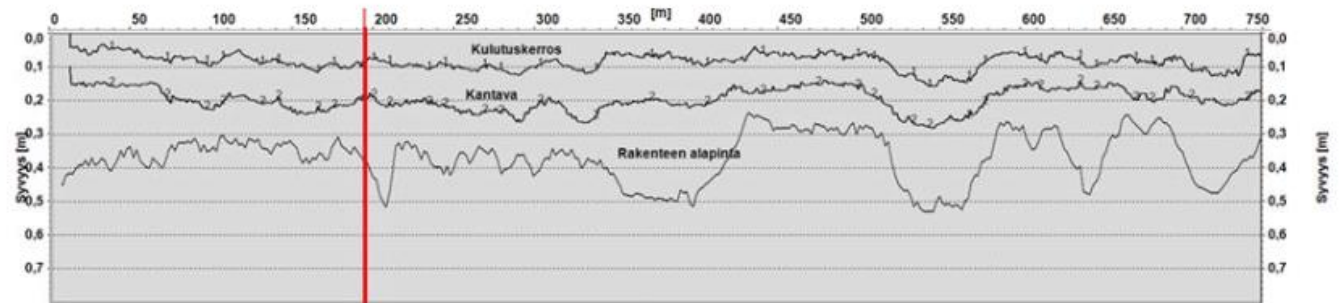
Sorateiden rakenteellinen vaurioituminen

- Rakenteelliselta kannalta soratien oleellisin vaurioitumismekanismi on sekä rakennekerroksissa että pohjamaassa tapahtuvat muodonmuutokset, jotka ilmenevät urautumisena sekä rakennekerrosten ja pohjamaan sekoittumisena
- Märällä joustavalla pohjamaalla veden pumppautuminen rakenteeseen voi kiihdyttää muodonmuutosten syntymistä merkittävästi



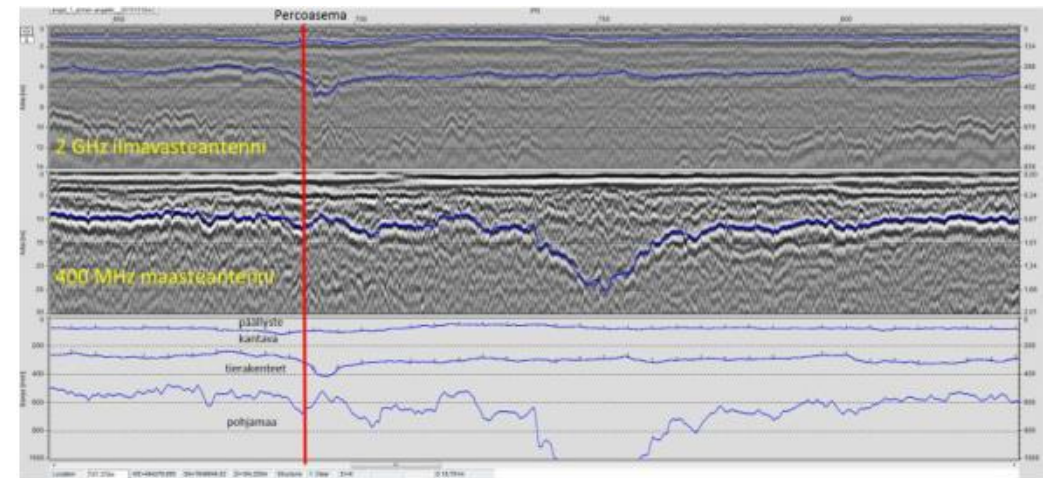
Akselimäärän vaikutus rekan kuormitusvaikutukseen

- Ranuan koekohteella (Telkkäläntie) kuormituskokeita tehtiin jaksoittain vuorotellen yhdellä ja kahdella peräkkäin ajaneella 7-akselisella rekalla (7 ja 14 kuormittavaa akselia)
- Rakennekerrosten yhteispaksuus < 0,5 m sisältäen kulutuskerrosta n. 0,1 m ja uutta kantavaa kerrosta n. 0,1 m
- Pohjamaa pääosin kosteaa silttimoreenia, osin myös turvetta
- Tietyssä ajassa mittausalueen ylittänyttä massaa kohti urautumisnopeus oli 14-akselisella ajoneuvo-yhdistelmällä selvästi suurempi kuin 7-akselisella yhdistelmällä



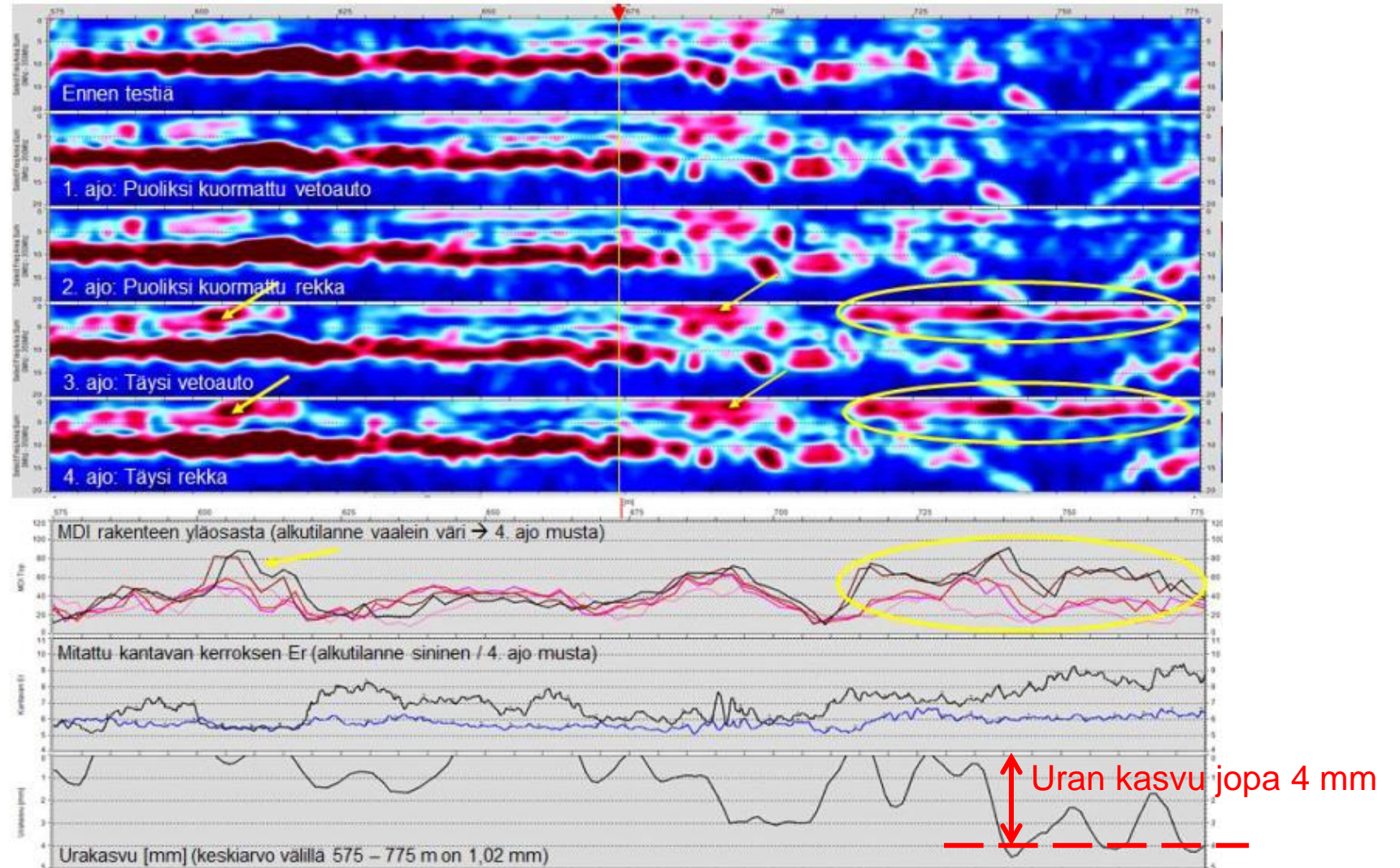
Kuormituskokeet 76 tonnin rekalla Inarissa 2016

- Inarin koekohteella (Angelintie) seurattiin huokosvedenpaineen muutoksia ja veden pumppautumista rakenteeseen eri kuormausasteessa olevan rekan ylitysten aikana
- Rakennekerrosten kokonaispaksuus noin 0,6 m, josta päällystettä 70 – 90 mm ja kantavaa kerrosta n. 250 mm
- Pohjavedenpinta lähellä ympäröivän maanpinnan tasoa, kuten viereisen kuvan sivuojista on nähtävissä
- Kuormituskokeiden aikana veden pumppautuminen todennettiin maatulokauksella erityisesti turvepohjamaalla; samoilla kohdilla urautumista jopa 1 mm/ajoneuvoylitys



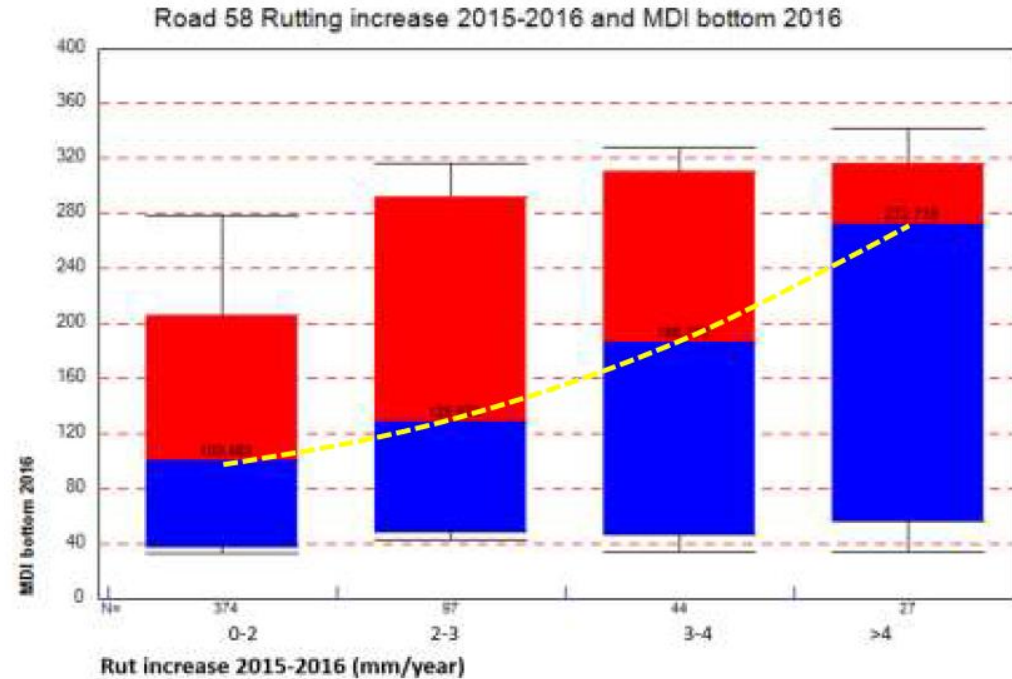
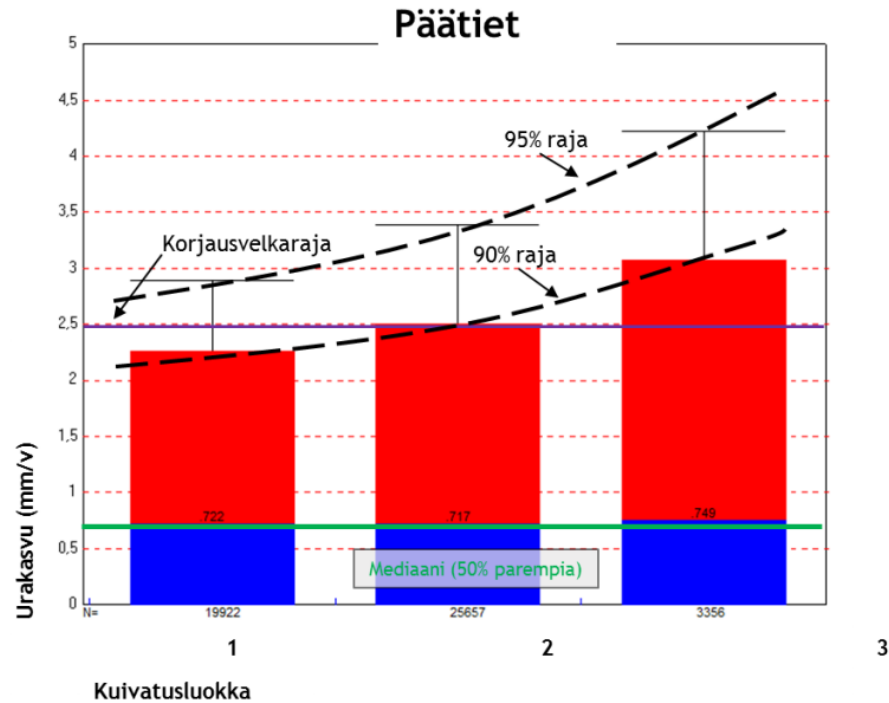
Pumppautuminen ja urakasvu kuormitusten aikana

- Pumppautumisriski koskee erityisesti joustavalla määrällä pohjamaalla (turve) sijaitsevia ohuita tierakenteita
- Oleellisin keino pumppautumisesta aiheutuvan rakenteen nopean vaurioitumisen hallintaan on ajoneuvojen välisten lepoaikojen säätely



Kuivatustilanteen ja vaurioitumisnopeuden yhteys

- Tierakenteen kuivatustilan ja vaurioitumisnopeuden välinen yhteys on tunnistettu monissa eri tutkimuksissa – tilanne on sama myös sorateilla
- ”Jos mitään muuta ei ole varaa tehdä, kuivatus kannattaa silti pitää kunnossa”



MDI = Moisture Damage Index

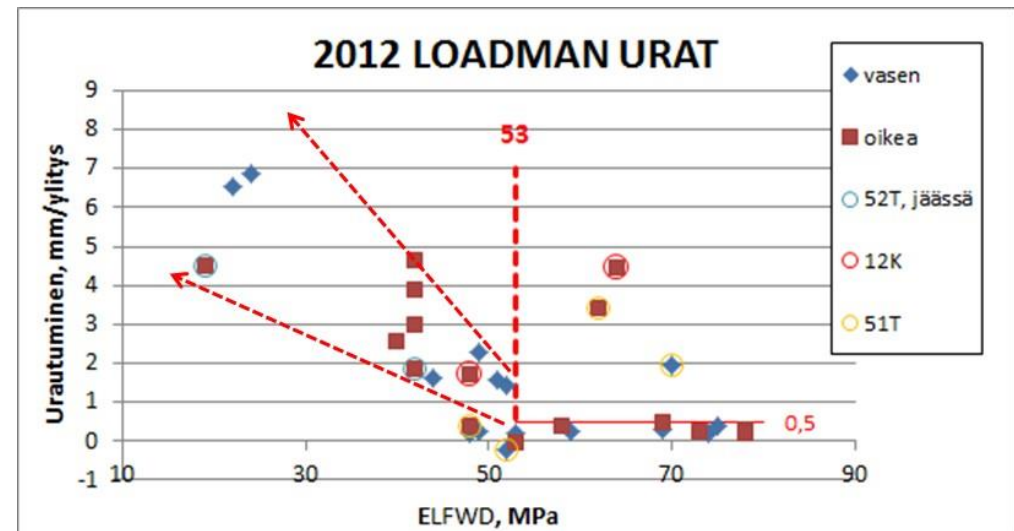
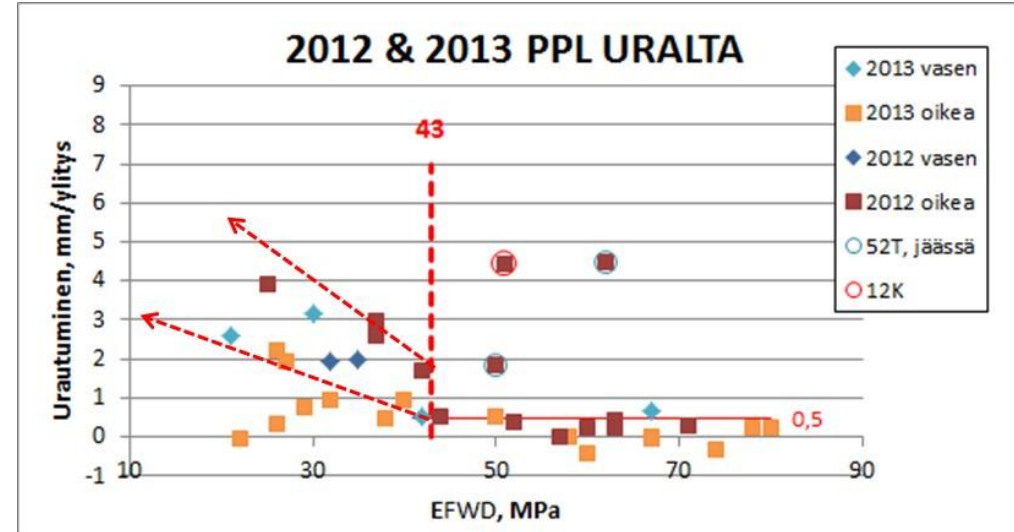
Soratien urautumisriskin arviointi ääriolosuhteissa

- Yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen (ent. Metla) tehtiin keväällä 2012 ja 2013 metsäteiden kuormituskokeita, joiden yhteydessä havainnoitiin heikkojen soratierakenteiden urautumisnopeuksia ja samalla testattiin mittausmenetelmiä urautumisriskin arviointiin
- Kuormitusajoneuvona 34 tonnin neliakselinen sora-auto
- Rakenteen ominaisuuksia testattiin normaalilla (PPL) ja kevyellä pudotuspainolaitteella (Loadman) sekä DCP-laitteella (Dynamic Cone Penetrometer)

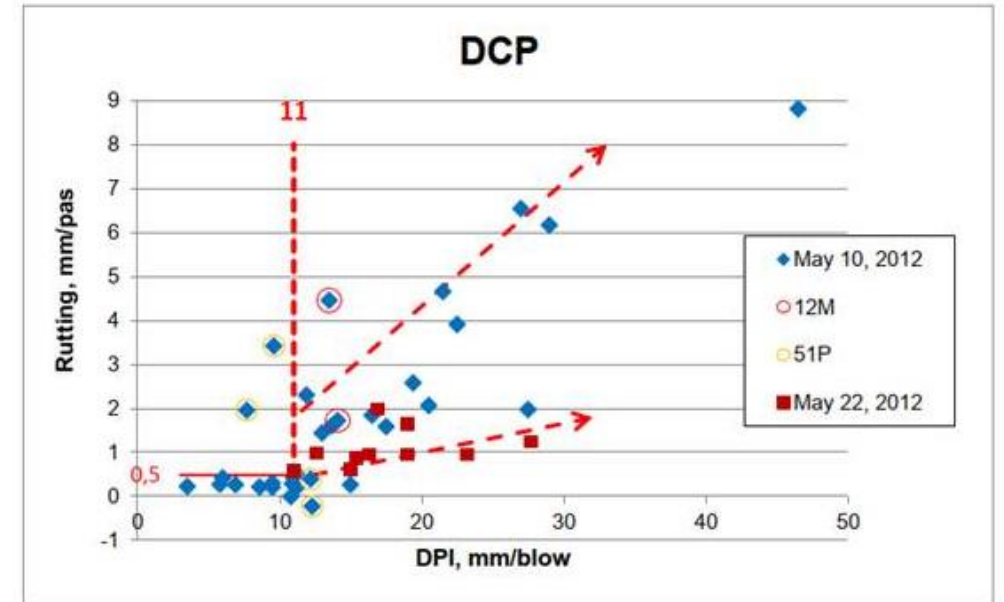
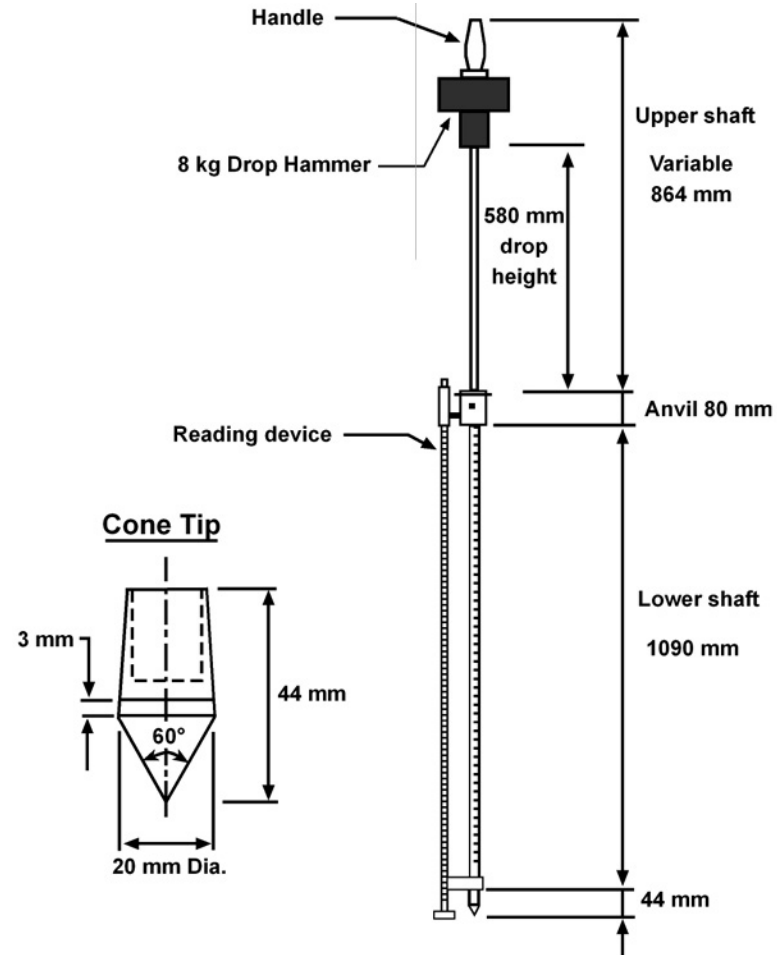


Urautumisriskin arviointi PPL:n ja Loadmanin perusteella

- Pudotuspainolaitteen perusteella arvioituna riski erittäin nopealle urautumiselle näyttäisi olevan suuri, jos ajouran kohdalta mitattu moduuli-arvo on < 50 MPa
- Kevyellä pudotuspainolaitteella vastaava raja-arvo näytti olevan hieman korkeampi, noin 60 MPa
- Ajourien välistä mitattaessa moduuli-arvot jäivät huomattavasti alemmiksi ja tulosten hajonta oli suurempi
- Muutamien ajoneuvoylistysten jälkeen ajouralta mitatut arvot olivat selvästi korkeampia, koska kuormitus tiivisti rakennetta

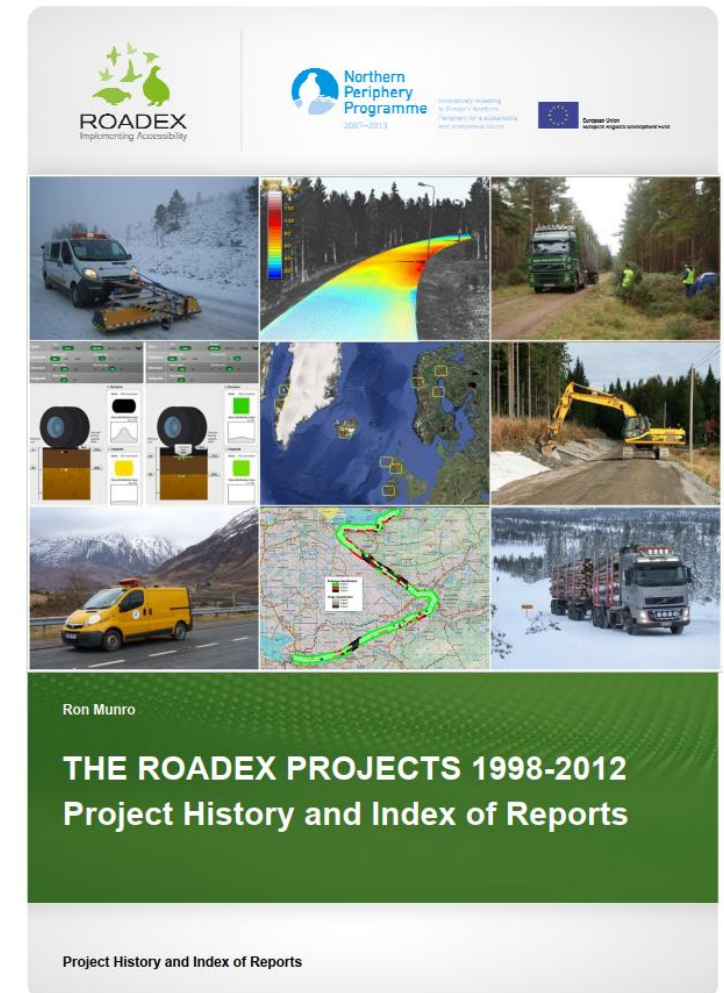


Urautumisriskin arviointi DCP:n perusteella



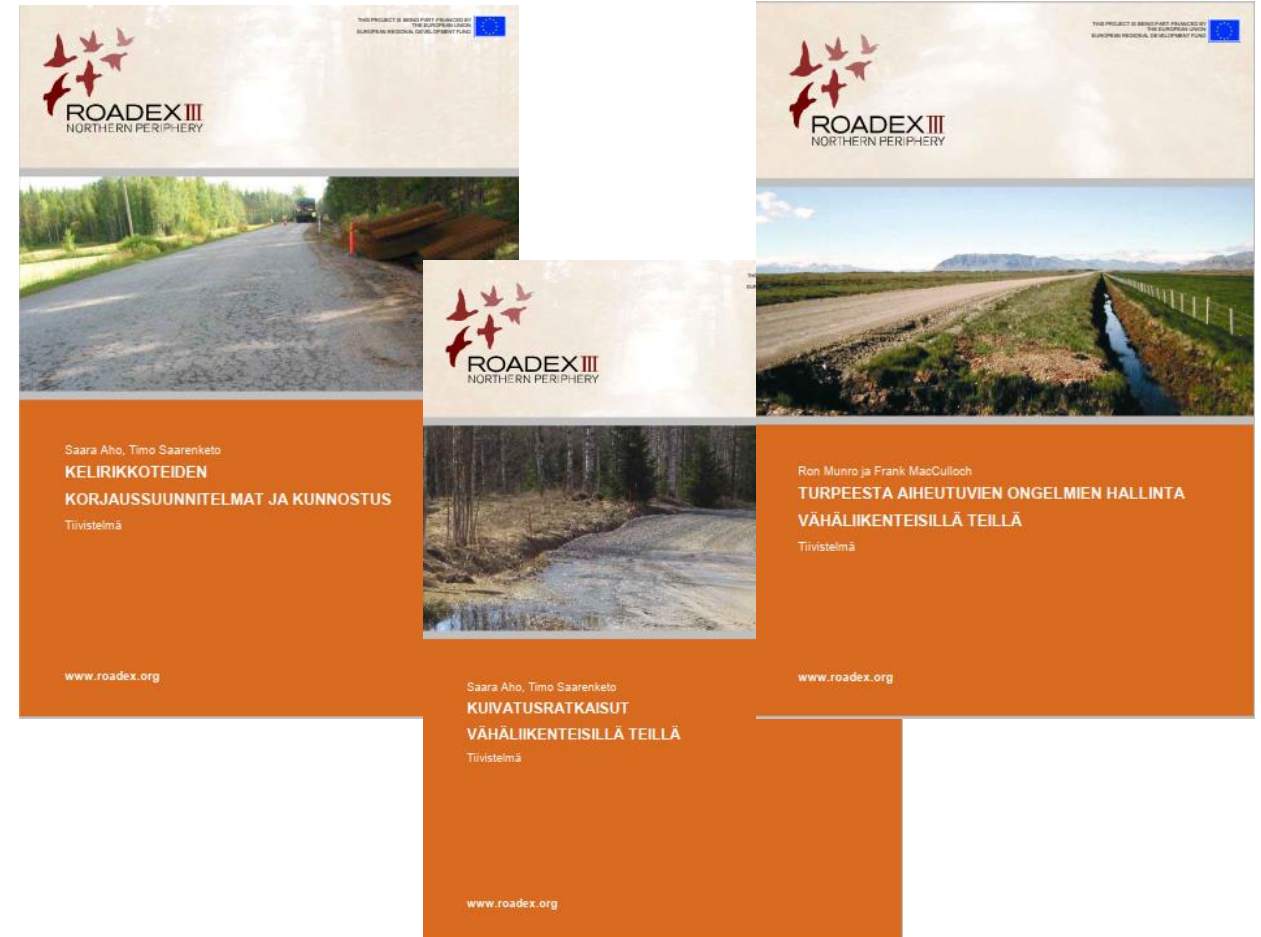
Yllä olevaa kuvaajaa käytettäessä lyöntivastus havaitaan enintään 400 mm syvyyteen tien pinnasta.

Suora linkki alempiluokkaista tiestöä koskevaan tutkimustietoon: www.roadex.org



ROADEX Knowledge center

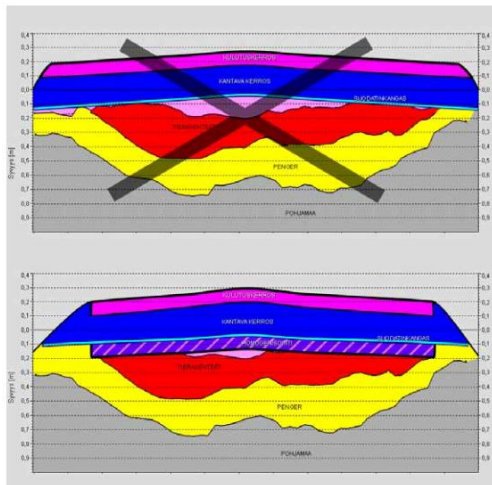
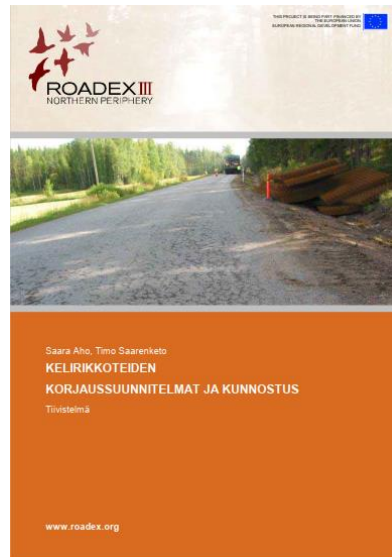
- EU:n NPP-ohjelman sekä pohjoismaisten tienpitäjien (+Skotlanti ja Irlanti) rahoittaman ROADEX-projektin raportteihin on vuodesta 1998 lähtien koottu suuri määrä alempi-luokkaisten teiden hoitoon, ylläpitoon ja korjaamiseen liittyvää kokemusta ja tutkimustietoa
- Merkittävä osa keskeisistä raporteista on julkaistu paitsi englanniksi myös osallistujamaiden kansallisilla kielillä – siis myös suomeksi
- Lisäksi sivustolla on kattava paketti monikielistä itseopiskelumateriaalia (eLearning) mm. kuivatuksesta, turpeen varaan rakentamisesta ja rakenteiden pysyvistä muodonmuutoksista



Kelirikkoteiden korjausratkaisut

Taulukko 2.2. Kelirikkokohteiden vaurioluokitus.

POHJAMAAL	TIEN TOPOGRAFIA	VAHINKOJEN MERKITTÄVYYS	VAURIO-LUOKKA
moreeni	rinne	Lievä	A.I
		Keskivaikea	A.II
		Vaikea	A.III
	tasainen ja alava maasto	Lievä	B.I
		Keskivaikea	B.II
		Vaikea	B.III
kumpare	Lievä	C.I	
	Keskivaikea	C.II	
	Vaikea	C.III	
savi ja siltti	rinne	Lievä	D.I
		Keskivaikea	D.II
		Vaikea	D.III
	tasainen ja alava maasto	Lievä	E.I
		Keskivaikea	E.II
		Vaikea	E.III
	kosteaa notkelmaa	Lievä	F.I
		Keskivaikea	F.II
		Vaikea	F.III
turve	sijaitsevat pääasiassa tasaisessa ja alavassa maastossa tai kosteassa notkelmassa	Lievä	G.I
		Keskivaikea	G.II
	Vaikea	G.III	
kallio	sijaitsevat pääosin rinteessä	Lievä	H.I
		Keskivaikea	H.II
		Vaikea	H.III
	Kohteet, joissa kelirikkoon vaikuttavat muut tekijät kuin pohjamaalaji	Lievä	I.I
		Keskivaikea	I.II
		Vaikea	I.III

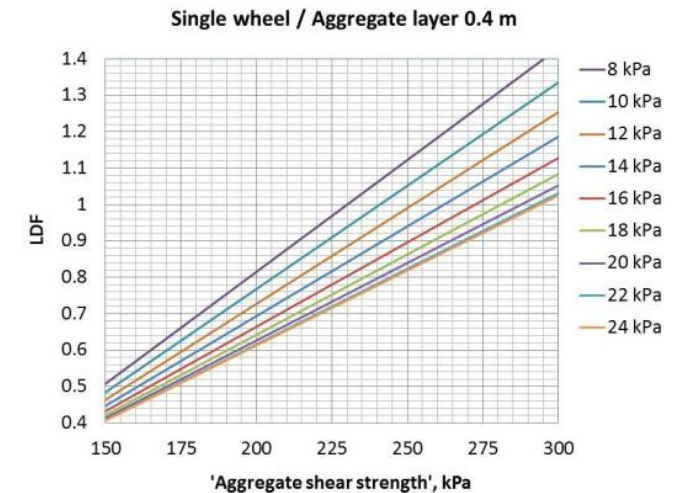
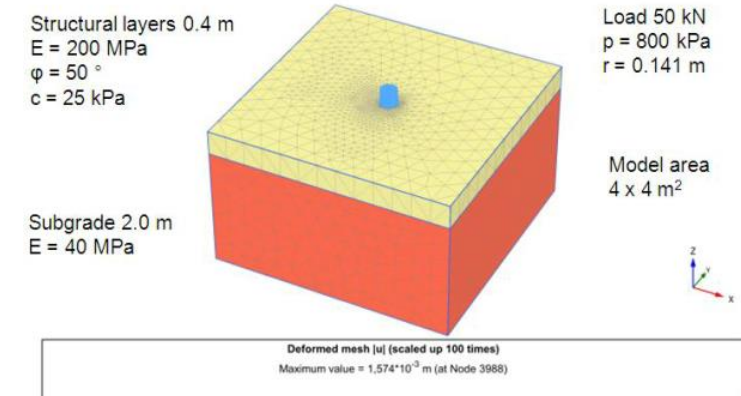
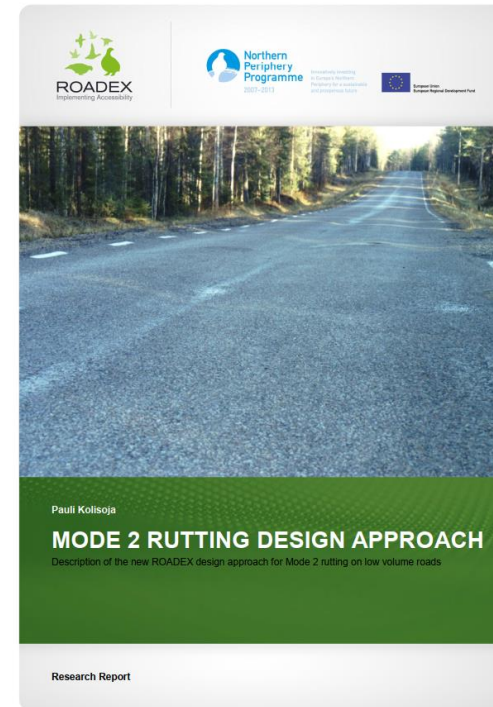


Taulukko 5.1. Sorateiden korjausrakenteiden rakennusprosessit.

I PERUSRAKENNE
<ol style="list-style-type: none"> 1. vanhan kulutuskerroksen poisto 2. tarvittaessa pohjamaan homogenisointi 300 mm 3. suodatinkangas 4. kantava/jakava kerros 200 – 300 mm 5. kulutuskerros 100 mm
II TERÄSVERKKORAKENNE
<ol style="list-style-type: none"> 1. vanhan kulutuskerroksen poisto 2. tarvittaessa vanhan materiaalin poisto 100 – 150 mm 3. suodatinkangas 4. kantava/jakava kerros 100 mm 5. teräsverkko 6. kantava/jakava kerros 200 mm 7. kulutuskerros 100 mm
III TASAUKSEN NOSTO
<ol style="list-style-type: none"> 1. vanhan kulutuskerroksen poisto 2. tarvittaessa pohjamaan homogenisointi 300 mm 3. suodatinkangas 4. jakava kerros ≥ 200 mm 5. kantava kerros 200 mm 6. kulutuskerros 100 mm
IV MASSANVAIHTO
<ol style="list-style-type: none"> 1. vanhan kulutuskerroksen poisto 2. vanhan materiaalin poisto ≥ 600 mm 3. suodatinkangas 4. suodatinkerros ≥ 300 mm 5. kantava/jakava kerros 200 – 300 mm 6. kulutuskerros 100 mm
V REUNAKANTAVUUDEN PARANTAMINEN
useita vaihtoehtoja, kuten: <ul style="list-style-type: none"> - reunan massanvaihto - sisäluiskien loivennus
VI MUUT KORJAUSMENETELMÄT
useita vaihtoehtoja, kuten: <ul style="list-style-type: none"> - stabilointi - routaeriste jne.

Laskentamenettely sorateiden kuormituskestävyyden arviointiin

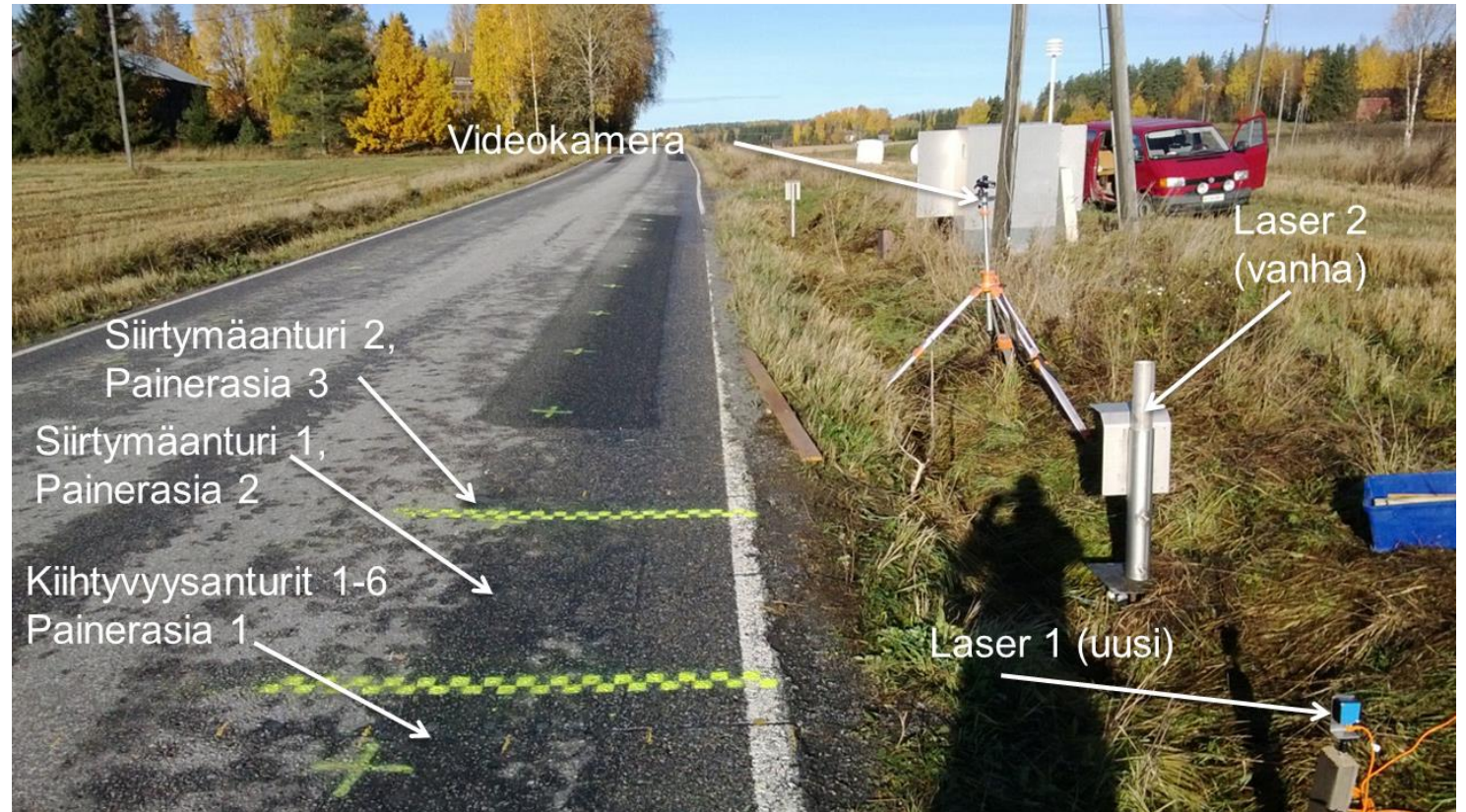
- ROADEX-projektissa on kehitetty myös elementtimenetelmään perustuva laskentamenettely sorateiden kuormituskestävyyden arviointiin
- Käyttäjän ei tarvitse hallita vaativaa laskennallista mallinnusta, koska menetelmän käyttö on pelkistetty nomogrammien muotoon
- Arviointiin voidaan sisällyttää:
 - Hyväksytty 'riskitaso'
 - Rakennekerrosten paksuus
 - Rakennekerrosmateriaalin laatu
 - Kuivatusolosuhteet karkealla tasolla
 - Pohjamaan laatu
 - Raskaimpien akseleitten rengastus (yksittäispyörä/paripyörä)



Onneksi ajoneuvoasetuksessa on paripyöräsääntö

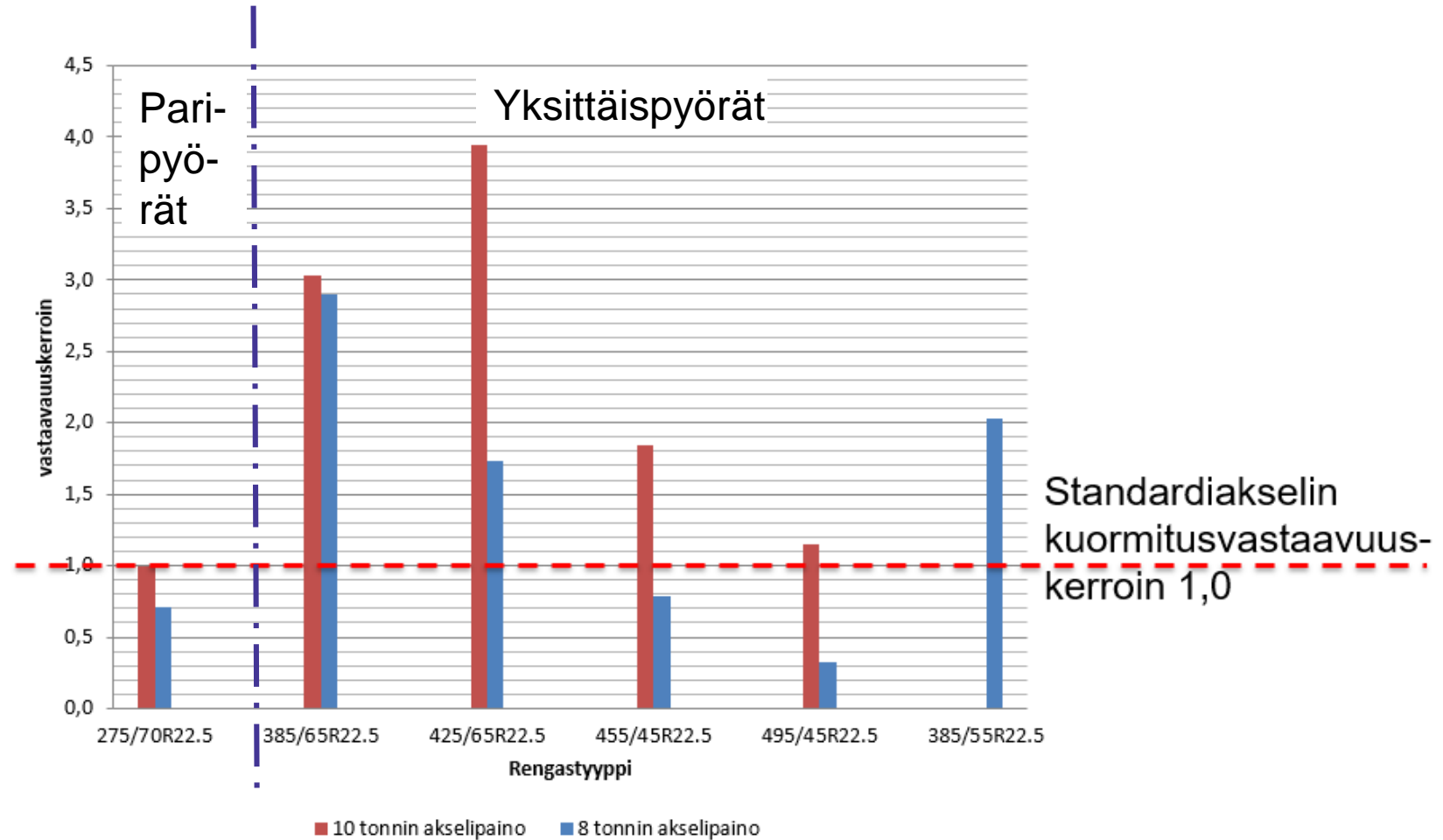
Tien rakenne erilaisten rengastusten vertailussa käytetyllä koekohteella Vesilahdella (Mt 2983):

- 40 (30) mm PAB-V
- 100 mm KaM
- 150 mm vanha PAB + kantava kerros
- 200 mm SrM



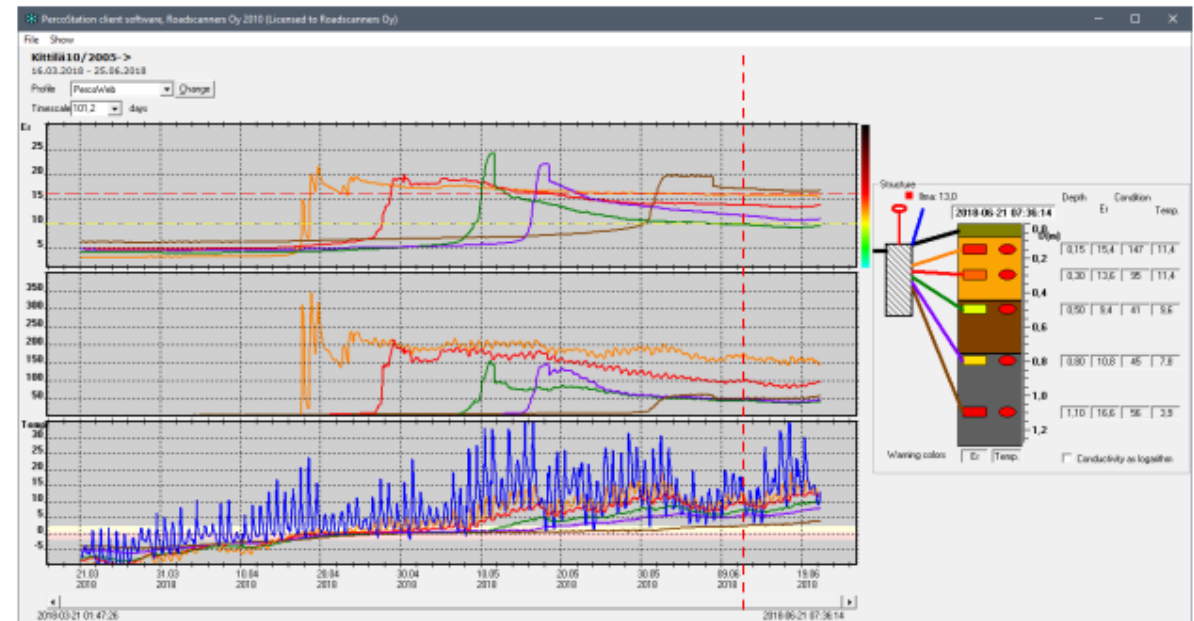
Paripyörien ja erilevyisten yksittäispyörien kuormitusvaikutusten vertailu

- Kapean yksittäispyörän kuormitusvaikutus jopa nelinkertainen paripyöriin verrattuna.
- Rengaspaineella on myös suuri merkitys toteutuvaan kuormitusvaikutukseen



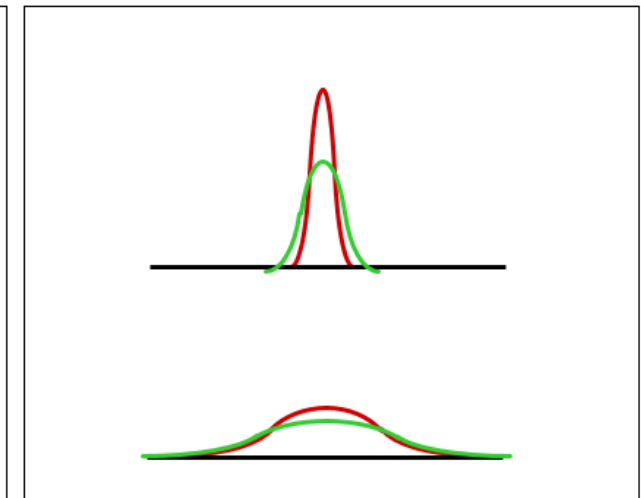
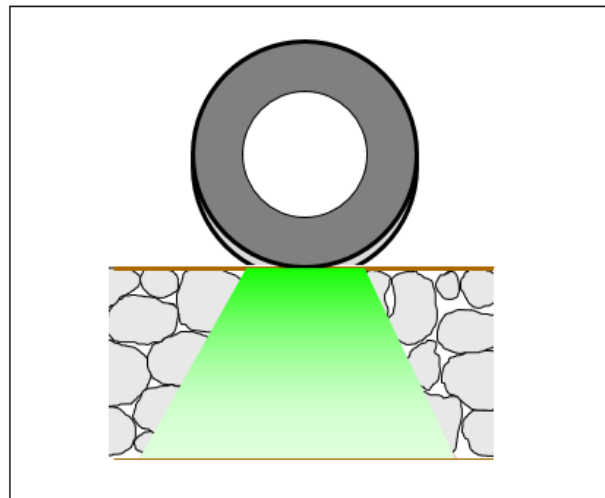
Painorajoitukset

- Perinteinen tapa tierakenteiden suojaamiseen kelirikkoaikana tapahtuvalta liian nopealta vaurioitumiselta on painorajoitusten asettaminen
- Liikenteellisen haitan minimoimiseksi painorajoitusten laajuuden ja keston pitäisi kuitenkin olla mahdollisimman pieni
- Jäätymisen, sulamisen ja rakenteiden kuivumisen etenemisen seurantaan on ainakin Lapissa ja Keski-Suomessa hyödynnetty nk. Percoasemia, jotka mittaavat dielektrisyyttä, sähköjohtavuutta ja lämpötilaa eri syvyyksillä tierakenteesta



Rengaspaineen säätöjärjestelmän käyttö

- Vaihtoehtoinen tapa raskaiden ajoneuvojen aiheuttaman kuormitusvaikutuksen rajoittamiseen on muuttuvan rengaspaineteknologia (CTI tai TPCS)
- Heikolla kulkualustalla alennettava rengaspaine kompensoituu renkaan kosketuspinta-alan kasvulla
- Rasitus pienenee erityisesti tierakenteen yläosassa; syvemmillä vaikutus jää vähäisemmäksi
- Merkittävä osa painorajoituksista voisi olla mahdollista välttää CTI-tekniikkaa hyödyntämällä



Yhteenveto

- Ajoneuvopainojen kasvun ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutus haastaa toden teolla myös sorateiden kestävyys
- Rakenteessa ja pohjamaassa kelirikkoaikana – paitsi keväällä, myös syksyllä – tapahtuvat muodonmuutokset keskeisin rakenteellinen ongelma
- Veden pumppautuminen märästä joustavasta pohjamaasta tierakenteeseen on ohuille tierakenteille ominainen eritysongelma – ajoneuvojen väliset palautumisajat tällöin tärkeitä
- Kuivatuksen pitäminen kunnossa kannattaa aina
- CTI-teknologia voisi tarjota uudenlaisen ratkaisun sorateiden kestävyysongelmiin
- **Muista hyödyntää www.roadex.org –sivustolta löytyvät raportit ja itseopiskelumateriaali!**

