



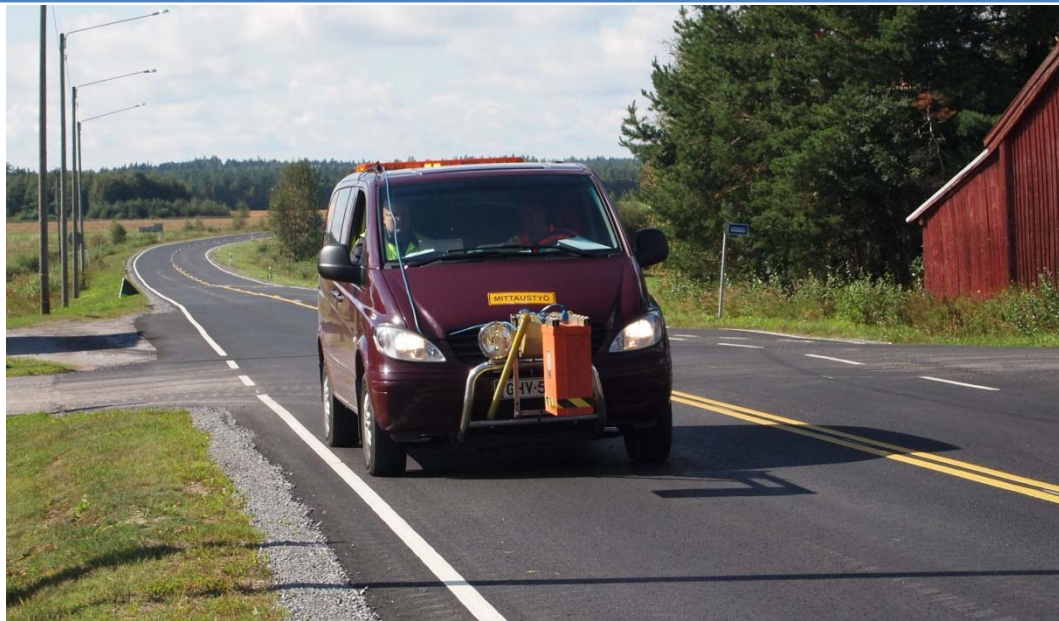
Gränslösa möjligheter



EUROPEISKA UNIONEN  
Europeiska regionala  
utvecklingsfonden

**INTERREG  
IV|A|NORD**

# Mara Nord Wp 5 Tyhjätilamittausten vertailupäivä Seinäjoella 24.8.2011



**Liikennevirasto**

Finnish Transport Agency



**TRAFIKVERKET**  
SWEDISH TRANSPORT ADMINISTRATION



**Statens vegvesen**



Nordkalotträdet  
Pohjoiskalotin neuvosto  
The North Calotte Council



Centre for Economic Development,  
Transport and the Environment

**OULUN SEUDUN  
AMMATTIKORKEAKOULU**



**Rovaniemen  
ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences  
LUC

**Mara Nord Project in cooperation with:**

European Commission, Finnish Transport Agency, Swedish Transport Administration, Norwegian Road Administration, ELY center, Lapin Liitto, North Calotte Council, Rovaniemi University of Applied Sciences, Oulu University of Applied Sciences, Roadscanners, Road Consulting, Carement, Ramböll Sweden, Malå Geoscience, Swedish National Road and Transport Research Institute, SINTEF, 3D Radar, NCC Roads

# Tyhjätilamittausten vertailupäivä Seinäjoella 24.8.2011

## Sisällysluettelo

1. Johdanto .....	2
2. Mittaukset .....	3
2.1. Järjestelyt ennen mittauksia .....	3
2.2. Kohteet .....	4
2.3. Olosuhteet ja aikataulu .....	4
2.4. Mittausten suoritus .....	6
3. Tulokset .....	7
3.1. Tulosten käsittely .....	7
3.2. Tuloksien graafinen tarkastelu .....	8
Eri operaattoreiden mittaustulosten vertailu .....	9
Toistomittausten vertailu .....	10
3.3. Tilastollinen analyysi .....	12
Tyhjätilamittausten korrelaatiokertoimet .....	13
Valtatien Vt18 mittaustuloksista .....	14
Mittausmenetelmän R&r (toistettavuus&uusittavuus) .....	15
4. Johtopäätökset .....	18

## 1. Johdanto

Mara Nord –projektin yhteydessä järjestettiin 24.8.2011 suomalaisille yrityksille suunnattu vertailumittauspäivä uuden päällysteen tyhjätilamittauksiin liittyen. Mittaukset suoritettiin maatutkakalustolla ja tarkemmin ottaen kyse on PANK-4122 kuvauksen mukaisesta menetelmästä. Mittauksissa käytettiin GSSI:n valmistamaa laitteistoa. Mittauksiin osallistuneiden maatutkalaitteisto koostui SIR-20 yksiköstä ja 1GHz:n ilmastantennista (horn-antenni).

Vertailumittaukseen ottivat osaa Roadscanners Oy, RC-Infra Oy, Carement Oy ja Andament Oy. Varsinaisten vertailumittausten lisäksi suoritettiin lisämittauksia Mara Nord projektin tutkimustyötä varten. Mittaukset sijoituivat Seinäjoen alueelle ja suoritettiin valtatiellä 18 ja maantiellä 725. Liikenneviraston puolelta mittausten suunnittelusta on vastannut Katri Eskola, Lapin Ely-keskuksesta Kalevi Luiro, Etelä-Pohjanmaan Ely-keskuksesta Jarmo Eskola ja Rovaniemen ammattikorkeakoulusta lehtorit Kari Peisa ja Janne Poikajärvi. Käytännön mittausjärjestelyissä avustivat Ismo Kallunki ja Kristian Saukkoriipi Rovaniemen ammattikorkeakoulusta. Mittausten yhteydessä otetut päällysteporanäytteet analysoitiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa Esa Perälän toimesta. Tärkeää apua kohteiden valinnan suhteen antoivat Pentti Katermaa ja Petri Varis Skanska Asfaltti Oy:stä sekä Vesa Vainio RC-Infra Oy:stä.

Tämän raportin ovat laatineet Kari Peisa ja Janne Poikajärvi Rovaniemen ammattikorkeakoulusta.

## 2. Mittaukset

### 2.1. Järjestelyt ennen mittauksia

Mittauskohteet valittiin yhteistyössä Liikenneviraston, Lapin ja Etelä-Pohjanmaan Ely-keskusten, Skanska Asfaltti Oy:n ja Rovaniemen ammattikorkeakoulun kesken. Kohteita valittaessa huomioitiin RC-Infra Oy:n suorittamat edeltävät mittaukset kohteissa.

Mittauksilaisuuden järjestäjinä paikan päällä toimivat Janne Poikajärvi, Ismo Kallunki ja Kristian Saukkoriipi. Lisäksi apua järjestelyihin (mm. paikkatiedot) saatiin Vesa Vainiolta.

Tiistaina 23.8. mittauskohteet tarkistettiin ja merkittiin merkintämaalilla. Lisäksi kohteiden alkuun ja loppuun liimattiin asfaltin pintaan alumiiniteippi. Alustavat tiedot mittausten etenemisestä oli toimitettu yrityksille sähköpostitse aiemmin. Illan aikana viimeisteltiin lopullinen mittausohje lopullisine kohdetietoineen.

Varsinainen mittauspäivä 24.8.2011 aloitettiin perehdytystilaisuudella Seinäjoella. Tilaisuuteen osallistuivat mittausten järjestäjät sekä vertailumittauksiin osallistuneet yritykset. Tilaisuudessa käytiin läpi muun muassa seuraavat asiat:

- Mittauskohteet (linjamittaukset ja pistemittaukset)
- Mittauskohteiden merkinnät
- Mittausasetukset
- Mittausten suoritus (mm. laitteistojen lämmitys, metallipulssien mittaaminen, mittalinjan sijainti oikeassa ajourassa, mittausnopeus, markkereiden käyttö referenssipisteiden kohdalla)
- Mittaustiedostojen tallentaminen ja muistiinpanot
- Mittaustiedostojen toimittaminen järjestäjälle
- Työturvallisuus (erityinen huomio pistemittausten suorittamisen yhteydessä)
- Yhteystiedot poikkeustilanteita varten

## 2.2. Kohteet

Valtatien 18 mittalinja alkoi noin tierekisteriosoitteesta vt 18 tieosa 7 paalu 355m. Mittalinjan pituudeksi määritettiin 6642m. Mittaukset suoritettiin molempiin suuntiin eli molemmilta ajokaistoilta. Mittalinjalta oli ennakkoon otettu kaksi poranäytettä molemmilta ajokaistoilta (yhteensä 4 näytettä) samasta poikkileikkauksesta 0-paalulta 1-suuntaan laskien noin 4114m etäisyydeltä. Molemmilla ajokaistoilla suoritettiin näissä kohdissa pistemittaus jokaisella laitteella.

Maantien 725 mittalinja alkoi noin tierekisteriosoitteesta mt 725 tieosa 6 paalu 7550m. Mittalinjan pituudeksi määritettiin 6852m. Mittaukset suoritettiin molempiin suuntiin eli molemmilta ajokaistoilta. Mittalinjalta oli ennakkoon otettu kaksi poranäytettä molemmilta ajokaistoilta (yhteensä 4 näytettä) samasta poikkileikkauksesta 0-paalulta 1-suuntaan laskien noin 1819m etäisyydeltä. Tämän poikkileikkauksen etäisyys 2-suunnan 0-paalulta laskien oli 5032m. Lisäksi mittauksen jälkeen otettiin näytteet 1 suunnasta paalulta 101m ja 4913m. 2-suunnan 0-paalulta 2-suuntaan laskien näytteet otettiin paalulta 6524m ja 6789m. Näytteitä otettiin kustakin pisteestä kolme kappaletta eli yhteensä 12 kpl. Kaiken kaikkiaan valtatieltä 18 oli ennakkoon otettu 4 näytettä ja maantieltä 725 ennakkonäytteitä oli 4 kpl ja mittauksen yhteydessä otettiin 12 näytettä.

## 2.3. Olosuhteet ja aikataulu

Perehdytystilaisuus pidettiin Seinäjoella klo 08. Tämän jälkeen siirryttiin maantielle 725, jossa suoritettiin levähdysalueella päällystelaattamittauksia tutkimustarkoitukseen. Varsinaiset vertailumittaukset suunniteltiin alun perin aloitettavaksi maantie 725:llä, mutta olosuhteet olivat kuitenkin liian kosteat. Vettä ei ollut satanut edellisenä yönä eikä sitä satanut mittauksen aikana. Kylmä yö toi tullessaan voimakkaan sumun ja runsaan kasteen, mikä piti vähäliikenteisen maantie 725:n kosteana. Tilanne todettiin klo 10.40 (ilman lämpötila 11,5 °C) ja päätettiin siirtyä valtatielle 18. Ilman lämpeneminen ja suuri liikennemäärä kuivasivat valtatie 18 päällysteen ja mittaukset aloitettiin klo 11.22 (ilman lämpötila 15,0 °C). Mittaukset valtatiellä 18 saatiin valmiiksi klo 12.48 (ilman lämpötila 18,5 °C).



Kuva 1. Olosuhteet maantiellä 725 klo 09.30

Maantie 725:llä mittaukset aloitettiin klo 13.34 (ilman lämpötila 17,0 °C). Varjoisissa paikoissa tien reuna näytti vielä hieman kostealta, mutta ajoura oli selvästi kuiva. Aukeissa paikoissa (mm. peltoaukeat) päällyste oli kuiva. Ilman lämpötila nousi mittausten edetessä (klo 14.02 18,0 °C, klo 15.40 18,5 °C, klo 16.04 20,0 °C ja klo 19.20 20,5 °C). Varsinaiset vertailumittaukset päättyivät noin klo 14.30. Viimeisten metallilaattamittausten ja tulosten luovuttamisen jälkeen suoritettiin mittaukset RAMK:n kalustolla RC-Infran mittausajoneuvoa hyödyntäen. Lisäksi suoritettiin päällystenäytteiden poraukset maantiellä 725.





Kuva 2. Olosuhteet maantiellä 725 klo 13.40

## 2.4. Mittausten suoritus

Aluksi mitattiin päällystelaattoja Mara Nord projektin tutkimustyötä varten. Laattamittausten jälkeen aloitettiin varsinaiset vertailumittaukset. Linjamittaukset toistettiin kahteen kertaan. Niiden lisäksi tehtiin pistemittaukset kussakin referenssipisteessä jokaisella laitteella kerran. Mikäli pistemittauksen yhteydessä havaittiin häiriötä (esim. ohittava ajoneuvo), toistettiin mittaus häiriöttömässä olosuhteessa. Sekä laatta- että pistemittaukset liittyvät Mara Nord projektin tutkimustyöhön. Roadscanners Oy:n edustajien kanssa sovittiin, että he videoivat mittaukset ja toimittavat linjamittausten 1. ajon videot järjestäjien käyttöön. Linjamittauksia tehtäessä mittaajat merkitsivät pistemittaus/referenssi- kohteet markereihin.

## 3. Tulokset

### 3.1. Tulosten käsittely

Vertailumittauksista saadut tulokset on käsitelty Rovaniemen ammattikorkeakoulun toimesta. Maatutka-aineiston esikäsittelyn ja tyhjätilalaskennat on suorittanut Janne Poikajärvi ja tilastollisen analyysin on tehnyt Kari Peisa.

Esikäsittelyn yhteydessä maatutka-aineisto leikattiin alkavaksi samasta ja päättyväksi samaan pisteeseen kaikkien mittausten osalta. Tämä mahdollistui alumiiniteipin käytöllä mittalinjojen aloituksen ja lopetuksen yhteydessä. Leikattu maatutka-aineisto skaalattiin samaan pituuteen kunkin linjan osalta. Mittalinjojen pituuksissa oli jonkin verran heittoa. Aloitus- ja lopetusmerkkintöjen sekä referenssipisteiden markkereiden perusteella koko aineisto kuitenkin saatiin riittävällä luotettavuudella leikattua ja skaalattua vertailukelpoiseksi.

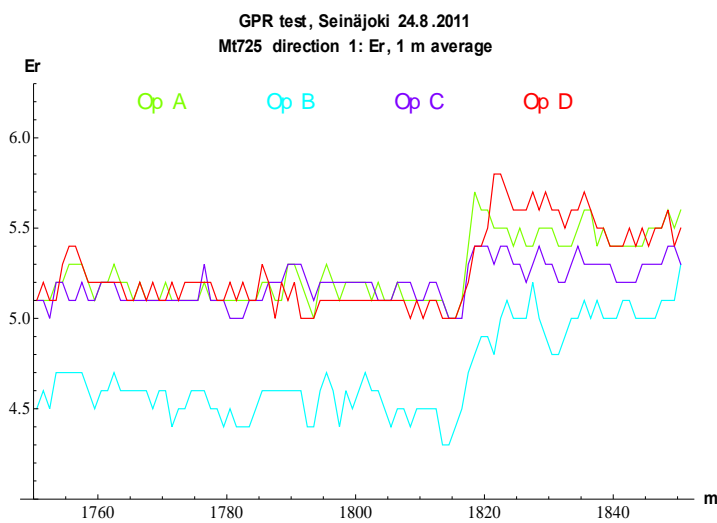
Tyhjätilalaskennat tehtiin Road Doctor –ohjelmiston avulla. Voimassa olevan menetelmän (PANK-4122) mukaisesti määritettiin kalibroitikertoimet kullekin mittalinjalle. Jokainen mittalinja käsiteltiin erikseen siten, että kunkin linjan markkereiden mukaisesti referenssipisteiden paalulukema kirjattiin ylös ja edelleen laskettiin kalibroitikerroin kullekin linjalle laboratoriotuloksia hyödyntäen. Kalibroitikertoimen laskennassa käytettiin 10  $\epsilon_r$ -mittausarvon keskiarvoa. Jokaisen referenssipisteen kohdalta laskettiin oma kalibroitikerroin ja lopulliseksi linjan kalibroitikertoimeksi muodostui linjalla olleiden referenssipisteiden kertoimien keskiarvo.

Dielektrisyysarvot ja tyhjätila-arvot tulostettiin Road Doctor –ohjelmasta 1 metrin välein ja nämä muodostivat aineiston vertailuanalyysia varten, joka perustuu graafisiin kuvauksiin sekä tilastollisiin menetelmiin kuten varianssianalyysi ja korrelaatio.

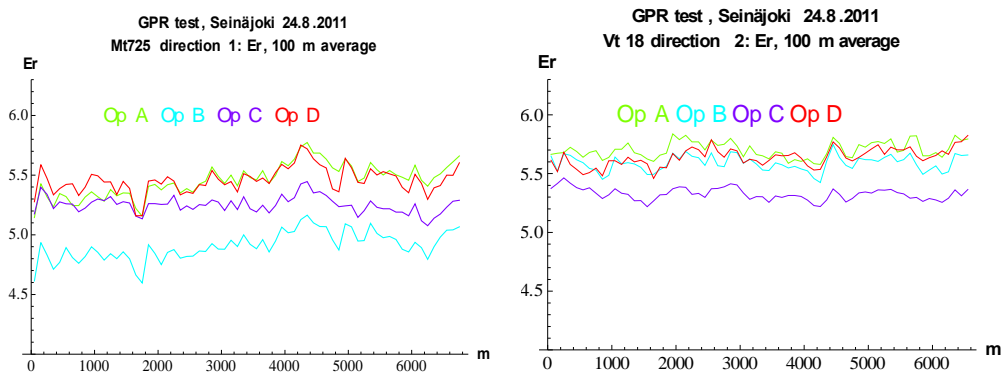


### 3.2. Tuloksien graafinen tarkastelu

Dielektrisyysarvojen graafinen tarkastelu osoittaa eri operaattoreiden tutkien havaitsevan merkittävät muutokset hyvin tarkasti samalla kohtaa jopa 1 metrin keskiarvoilla. Kuitenkin operaattoreiden dielektrisyysarvojen tasoissa oli eroja. Tieosuudella Mt725 molemmilla suunnilla muista poikkeavaa dielektrisyystasoa oli operaattorilla B ja tieosuudella Vt18 suunnassa 2 operaattorilla C. Muuten dielektrisyystasot olivat lähellä samaa tasoa. Huom! Operaattoreiden A, B, C ja D järjestys on sattumanvarainen mutta sama kaikissa esityksissä.



Dielektrisyysarvot Mt725 osuudella 1750 m -1850 m.



Dielektrisyysarvot Mt725 suunta 1 ja Vt18 suunta 2 koko mittausosuudella.

Dielektrisyysarvojen tasojen vaihtelu voi johtua ainakin

- Tutkan esilämmitysajan pituudesta
- Metallimittauksesta

Dielektrisyysarvo mitataan päällysteen heijasteen  $A_p$  ja metalliheijasteen  $A_m$  avulla kaavalla  $\epsilon_r = \frac{(A_m + A_p)^2}{(A_m - A_p)^2}$ . Mitatun metalliheijasteen pulssin arvo vaikuttaa siis suoraan dielektrisyystasoon. Aikaisemmissa mittauksissa on osoittautunut, että metalliheijasteen pulssin suuruuteen vaikuttaa ainakin ilman lämpötila.

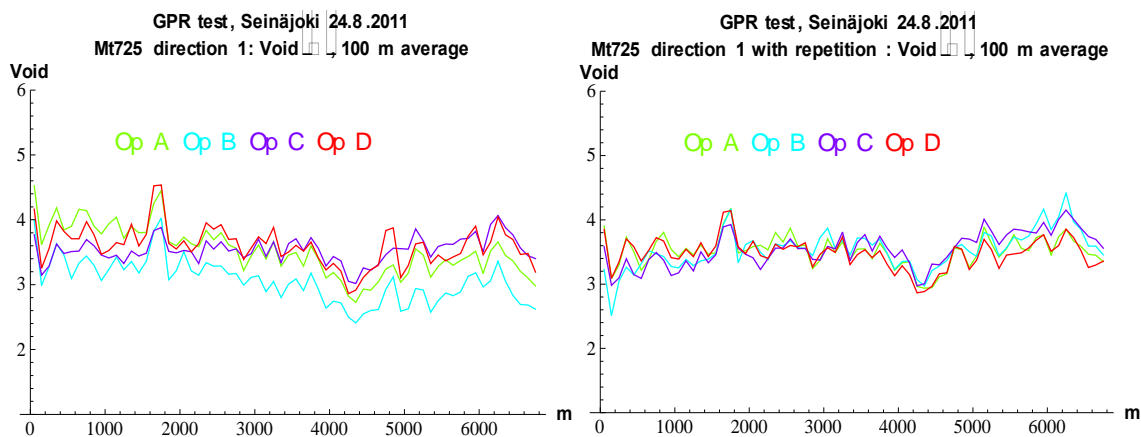
Dielektrisyysarvojen eri tasot eivät tarkoita suoraan sitä, että vastaavasti myös tyhjätila-arvoilla olisi eri taso. Tämä johtuu lähinnä kahdesta seikasta:

- 1) Laskentamallissa tutkan mitaamat dielektrisyysarvot (10 kpl tässä) asetetaan vastaamaan porapalasta saatavaa tyhjätilaa. Mallissa kalibrointikerroin on dielektrisyysarvon kertoimena.  $void = 272.93 e^{-1.3012 k \epsilon_r}$
- 2) Vertailtaessa muiden operaattoreiden dielektrisyysarvojen suhdetta poikkeaviin arvoihin voitiin todeta sen olevan aika vakio, jolloin tutkien mitaamat dielektrisyysarvot ovat suoraan verrannollisia toisiinsa.

Edellisten perusteella eri kalibrointikertoimet voivat tuottaa samanlaisia tyhjätila-arvoja myös eri dielektrisyystasoisilla.

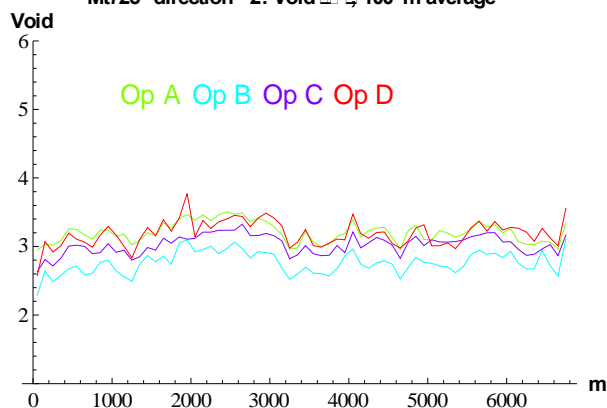
### Eri operaattoreiden mittaustulosten vertailu

Graafiset esitykset osoittavat, että eri operaattoreiden saamat tyhjätilajakaumat olivat pääsääntöisesti hyvin samankaltaiset ja myös samalla tasolla. Maantien Mt725 suunnan 1 ensimmäinen mittaus epäonnistui operaattorilla B.

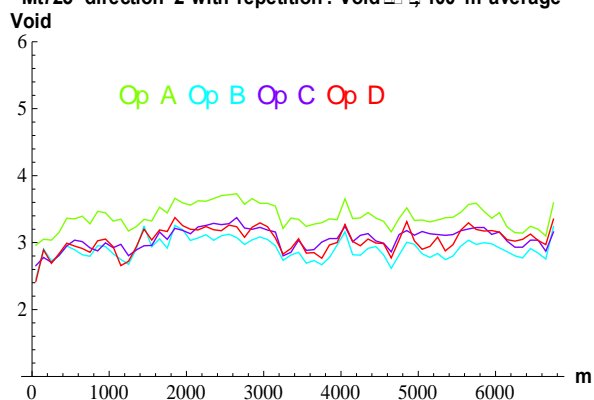


Tyhjätilan 100 m keskiarvot, suunta 1

GPR test , Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 2: Void 100 m average



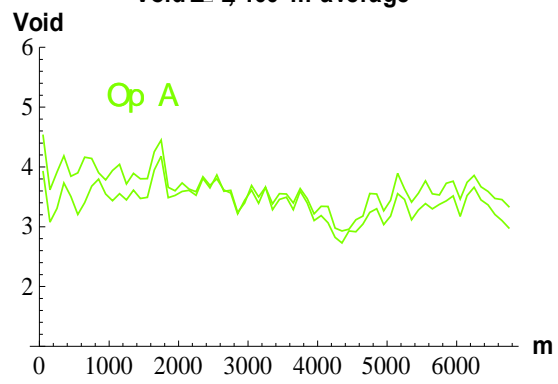
GPR test , Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 2 with repetition : Void 100 m average



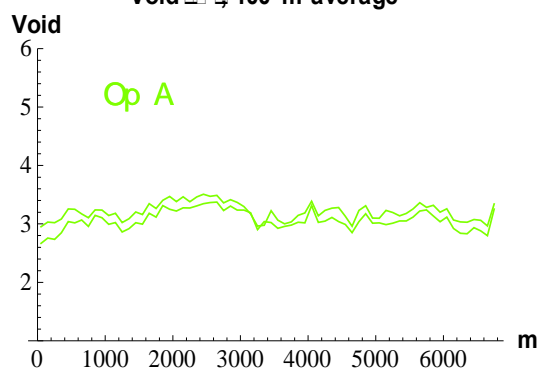
Tyhjätilan 100 m keskiarvot, suunta 2


## Toistomittauksien vertailu

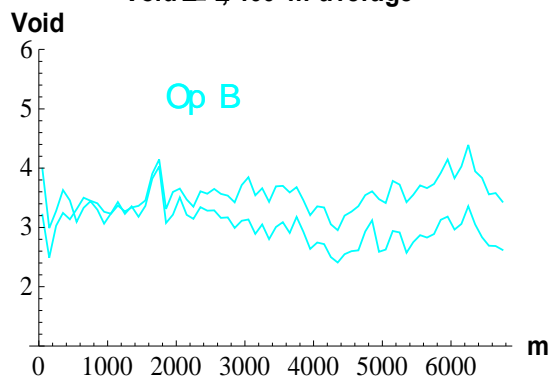
GPR test , Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 1 with repetition :  
Void 100 m average




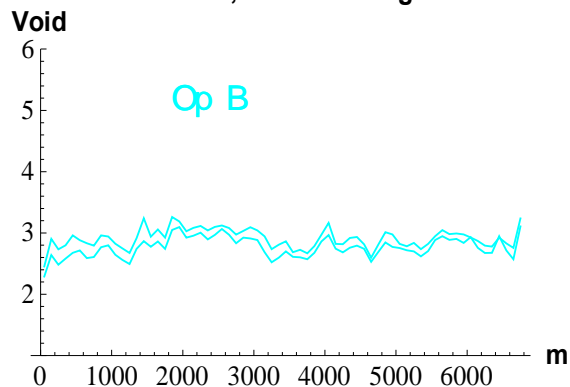
GPR test , Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 2 with repetition :  
Void 100 m average




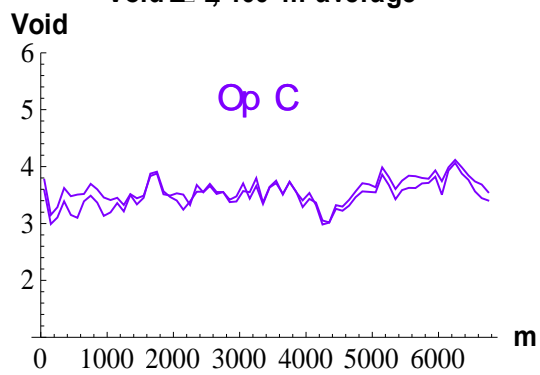
GPR test, Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 1 with repetition :  
Void  100 m average




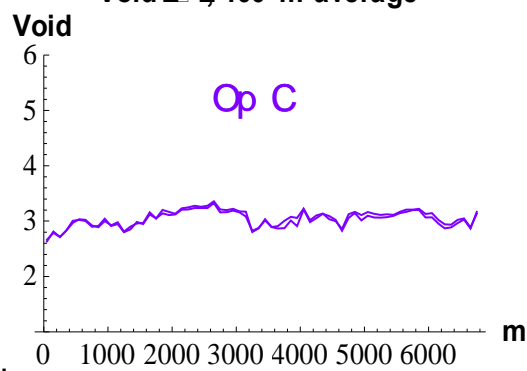
GPR test, Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 2 with repetition :  
Void  100 m average




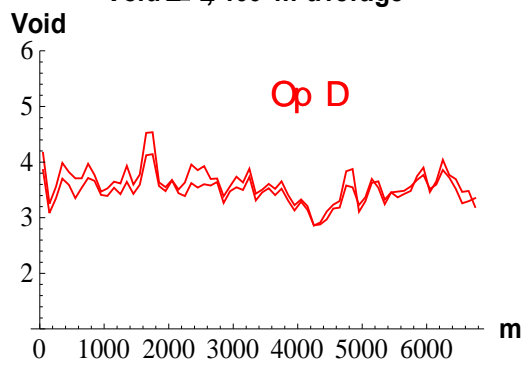
GPR test, Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 1 with repetition :  
Void  100 m average




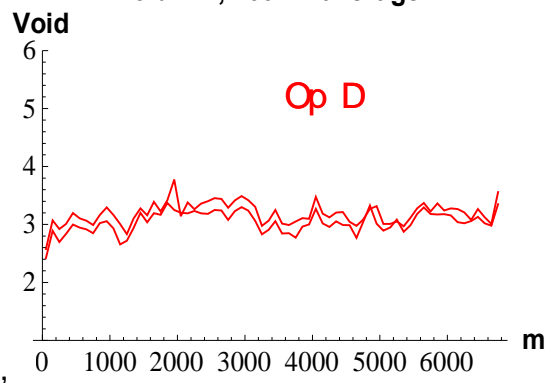
GPR test, Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 2 with repetition :  
Void  100 m average



GPR test, Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 1 with repetition :  
Void  100 m average



GPR test, Seinäjoki 24.8.2011  
Mt725 direction 2 with repetition :  
Void  100 m average



### 3.3. Tilastollinen analyysi

Tyhjätilan 1 m mittaustuloksista on laskettu keskiarvot peräkkäisille 100 m osuuksille, joita käytetään analyysissä yksittäisinä havaintoarvoina. Mittaukset tehtiin tien molemmilta kaistoilta ja lisäksi molemmista toistomittaus. Vertailussa olisi hyvä selvittää, miten saadut tyhjätilan ylitykset ( $> 5\%$ ) tai alitukset ( $< 1\%$ ) eroavat eri operaattoreilla ja saman operaattorin eri toistoissa. Tieosuuksilla ei löytynyt ylityksiä, mutta valtatiellä Vt18 löytyi alituksia, joita tarkastellaan jäljessä.

Vertailussa testattiin varianssianalyysillä hypoteesia

$H_0$ : eri mittaajien saamat tyhjätilan keskiarvot ovat samat.

Havaintoarvoja (100 m keskiarvoja) tieosuudelle tuli 68 kpl, mikä on aika suuri otos ja vaikuttaa varianssianalyysissä siten, että jo alle 0.1 suuruinen ero keskiarvoissa oli tilastollisesti merkittävä ero.

Varianssianalyysi edellyttäisi mm., että havaintoarvot ovat normaalisti jakautuneet. Tyhjätilan jakauman muotoon vaikuttaa ensisijaisesti tie. Mitatuilla tieosuuksilla tyhjätilan jakaumien normaaliutta tutkittiin graafisesti sekä myös Kurtosis-arvoilla (normaalijakauman Kurtosis = 3), joiden perusteella voitiin todeta, että jakaumat eivät ole aivan normaalisti jakautuneita.

Seuraavassa taulukossa on esitetty yksisuuntaisen varianssianalyysin tulos osuudelle Mt725.

		Hyväksytään $H_0$	Hylätään $H_0$
Mt725	suunta 1	A, C, D	B
	suunta 1 toisto	A, B, C, D	
	suunta 2	A, D	B, C
	suunta 2 toisto	A, C, D	A, B

Varianssianalyysi on ensin tehty kaikille neljälle operaattorille. Jos tuloksena on, että keskiarvoilla on tilastollisesti merkittävä ero, on poistettu eniten eroava mittaustulos ja laskettu ANOVA-tilastollinen tulos uudelleen ja edetty kuten neljän operaattorin tapauksessa. Kahden operaattorin tapauksessa on käytetty toistomittauksen t-testiä (t-paired test).

## Tyhjättila, Mt725 suunta 1

	op A	op B	op C	op D
Keskiarvo	3.53	3.06	3.54	3.60
Keskihajonta	0.38	0.34	0.20	0.31
Keskiarvon keskivirhe	0.05	0.04	0.02	0.04

## Tyhjättila, Mt725 suunta 1 toisto

	op A	op B	op C	op D
Keskiarvo	3.52	3.52	3.54	3.48
Keskihajonta	0.24	0.30	0.26	0.24
Keskiarvon keskivirhe	0.03	0.04	0.03	0.03

## Tyhjättila, Mt725 suunta 2

	op A	op B	op C	op D
Keskiarvo	3.21	2.76	3.03	3.19
Keskihajonta	0.15	0.16	0.14	0.19
Keskiarvon keskivirhe	0.02	0.02	0.02	0.02

## Tyhjättila, Mt725 suunta 2 toisto

	op A	op B	op C	op D
Keskiarvo	3.06	2.91	3.06	3.04
Keskihajonta	0.16	0.16	0.15	0.18
Keskiarvon keskivirhe	0.02	0.02	0.02	0.02

**Tyhjättilamittausten korrelaatiokertoimet**

Mittauksen Mt725 suunnan 2 korrelaatiokertoimet ovat hyviä niin mittaajien välillä kuin myös mittaustoistojen välillä. Suunnassa 1 operaattoreiden välillä ei kauttaaltaan löydy hyvää korrelaatiota. Selvästi operaattorin B suunnan 1 ensimmäinen mittaus on epäonnistunut.

## Operaattoreiden väliset korrelaatiokertoimet

**Mt725****Suunta 1**

	op A	op B	op C	op D
op A	1.00	0.94	0.45	0.81
op B		1.00	0.49	0.87
op C			1.00	0.70
op D				1.00

**Suunta 2**

	op A	op B	op C	op D
op A	1.00	0.83	0.88	0.80
op B		1.00	0.84	0.90
op C			1.00	0.77
op D				1.00



Toistomittausten väliset korrelaatiokertoimet

### Mt725

#### Suunta 1 toistomittaus

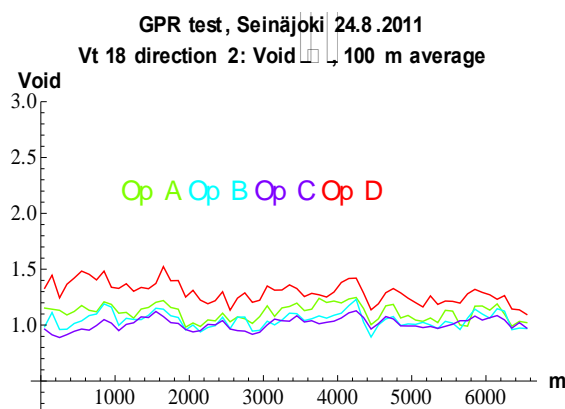
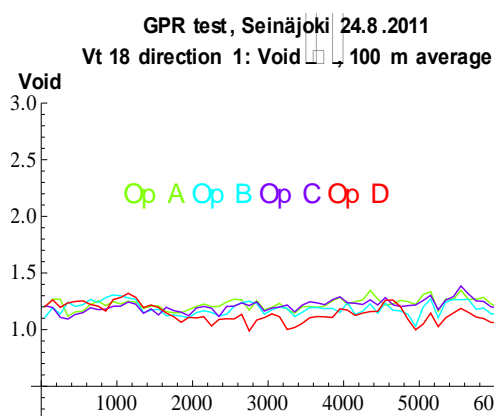
op A	0.64
op B	0.23
op C	0.84
op D	0.93

#### Suunta 2 toistomittaus

op A	0.92
op B	0.92
op C	0.97
op D	0.88

### Valtatie Vt18 mittaustuloksista

Tien Vt18 tyhjätilan vaihtelu oli hyvin pientä, jolloin varianssianalyysi ei soveltunut kovin hyvin. Operaattoreiden välinen mittausvaihtelu oli suhteellisesti liian suurta asfaltin tyhjätilan vaihteluun nähden. Tyhjätilan ylityksien suhteen operaattoreiden välinen ero oli kuitenkin merkityksetöntä. Mutta tyhjätilan alitusten suhteen sen sijaan eroja tuli, koska tyhjätilan keskiarvo oli lähellä 1:tä.



Seuraavassa taulukossa on laskettu yksittäisten alitusten (tyhjätilan arvo < 1%) prosentuaalinen osuus 1m keskiarvoista tieosuudella VT18 molemmissa suunnissa 1. mittauksessa.

Vt18 suunta 1, alituksia (< 1%)	op A	op B	op C	op D
	0.9	4.4	0.2	8.8

Vt18 suunta 2, alituksia (< 1%)	op A	op B	op C	op D
	9.5	25.1	24.4	2.8

Alitukset liittyvät tässä hyvin tasalaatuiseen päällysteeseen ja alitusten dielektrisyysarvot ovat tasoltaan hyvin lähellä keskiarvoa, joka on vain hieman yli 1.

<b>Vt18</b>	op A	op B	op C	op D
<b>Suunta 1</b>				
Keskiarvo	1.22	1.18	1.21	1.13
Keskihajonta	0.054	0.061	0.053	0.085
Keskiarvon keskivirhe	0.007	0.008	0.007	0.010
	op A	op B	op C	op D
<b>Suunta 1 toisto</b>				
Keskiarvo	1.21	1.12	1.21	1.28
Keskihajonta	0.054	0.068	0.053	0.070
Keskiarvon keskivirhe	0.007	0.008	0.007	0.009
<b>Suunta 2</b>	op A	op B	op C	op D
Keskiarvo	1.11	1.05	1.01	1.29
Keskihajonta	0.072	0.068	0.053	0.093
Keskiarvon keskivirhe	0.009	0.008	0.007	0.011
	op A	op B	op C	op D
<b>Suunta 2 toisto</b>				
Keskiarvo	1.10	1.10	0.91	1.17
Keskihajonta	0.081	0.073	0.044	0.089
Keskiarvon keskivirhe	0.010	0.009	0.005	0.011

Tyhjättilamittausten toistettavuus oli samanlaatuista maantiehen Mt725 verrattuna. Korrelaatiokertoimet olivat jonkin verran huonompia.

### Mittausmenetelmän R&r (toistettavuus&uusittavuus)

Mittaustuloksiin (100 m keskiarvot) sovellettiin myös toistettujen mittausten varianssianalyysia, jolla voidaan jakaa mittaustuloksissa esiintyvä kokonaisvaihtelu operaattoreiden väliseen vaihteluun, päällysteessä esiintyvään tyhjätilavaihteluun, mahdollisen yhdysvaikutuksen vaihteluun sekä toistomittausten tuomaan vaihteluun. Näistä voidaan edelleen laskea ns. toistettavuus&uusittavuus-arvo (RR-arvo), jota voidaan pitää mittausmenetelmän tarkkuutta kuvaavana arvona tieosuuden tyhjätilan keskiarvolle. Menetelmän yksityiskohtaisempi kuvaus löytyy teoksesta Anand M. Joglekar, Statistical Methods for Six Sigma ss. 262-266 (R&R Study).

Analyysissa osoittautui, että yhdysvaikutuksen vaihtelua ei esiintynyt, joten ao. taulukoissa

Toistettavuusvarianssi  $\sigma_T^2$  = toistomittausten varianssi

Uusittavuusvarianssi  $\sigma_U^2$  = operaattoreiden välinen varianssi

$$R\&R = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_U^2}$$

Mt725 suunta 1	varianssi	suht os
operaattoreiden välinen varianssi	0.011	9.09 %
Päällysteen tyhjätilan varianssi	0.049	40.32 %
Interaktio eli yhdysvaikutus	0	0.00 %
toistomittausten varianssi	0.062	50.60 %
	<b>R&amp;R</b>	<b>0.27</b>

Mt725 suunta 2	varianssi	suht os
operaattoreiden välinen varianssi	0.014	30.30 %
Päällysteen tyhjätilan varianssi	0.022	46.96 %
Interaktio eli yhdysvaikutus	0	0.00 %
toistomittausten varianssi	0.010	22.74 %
	<b>R&amp;R</b>	<b>0.16</b>

Vt18 suunta 1	varianssi	suht os
operaattoreiden välinen varianssi	0.001	9.05 %
Päällysteen tyhjätilan varianssi	0.002	25.71 %
Interaktio eli yhdysvaikutus	0	0.00 %
toistomittausten varianssi	0.005	65.24 %
	<b>R&amp;R</b>	<b>0.08</b>

Vt18 suunta 2	varianssi	suht os
operaattoreiden välinen varianssi	0.009	53.97 %
Päällysteen tyhjätilan varianssi	0.003	18.20 %
Interaktio eli yhdysvaikutus	0	0.00 %
toistomittausten varianssi	0.005	27.84 %
	<b>R&amp;R</b>	<b>0.12</b>

Taulukoissa esiintyvän yhdysvaikutuksen arvo 0% on sopusoinnussa edellä olevien tarkastelujen kanssa eli operaattorit mittaavat tyhjätilan vaihtelua hyvin samalla lailla.

Tieosuuden Mt725 1. suunnan R&R-arvon huonous johtuu operaattorin B epäonnistuneesta ensimmäisestä mittauksesta.

Taulukoista voidaan lukea myös, että mittauksen tarkkuus tyhjätilan keskiarvon suhteen huononee vain hieman, kun päällysteen tyhjätilan vaihtelu kasvaa.

## 4. Johtopäätökset

Seinäjoen vertailumittaus osoitti, että maatumien kyky mitata päällysteen dielektrisyyden vaihtelua on hyvä. Kaikki tutkat mittasivat samalla tavalla merkittävät dielektrisyyden muutokset. Kuitenkin dielektrisyydsarvojen tasoissa oli vaihtelua, mikä voi johtua ainakin tutkien esilämmitysajan vaihtelusta sekä metallimittauksesta. Mitatun metalliheijasteen pulssin arvo vaikuttaa suoraan dielektrisyytasoon ja metalliheijasteen pulssin suuruuteen vaikuttaa ainakin ilman lämpötila.

Päällysteen tyhjätila-arvot määräytyvät laskentamallista, jossa dielektrisyyden tasoerot pääosin eliminoidutvat mallissa käytetyn kalibrointikertoimen avulla. Tämän vuoksi myös päällysteen tyhjätilan merkittävät vaihtelut mitattiin erittäin suurella tarkkuudella samassa kohtaa ja samansuuntaisesti. Tyhjätilan tasoeroja esiintyi joissakin mittauksissa, vaikka pääosin tyhjätilan keskiarvot olivat alle 0.2 suuruisella vaihteluvälillä.

Yksisuuntaisen varianssianalyysin tuloksena tieosuuden Mt725 suunnan 1 toistomittauksessa tyhjätila-arvot eivät poikenneet merkittävästi toisistaan, mutta muissa mittauksissa ainakin yhden operaattorin tulos poikkesi merkittävästi muiden tuloksesta. Tyhjätilan keskiarvoille voitiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä määrittää R&R-arvoksi 0.2. Lisäksi voitiin todeta, ettei mittaustarkkuus oleellisesti heikenny, vaikka päällysteen tyhjätilavaihtelu lisääntyy.

Tyhjätilan ylityksiä (> 5%) ei mitatuilla tieosuuksilla esiintynyt, mutta valtaosalla Vt18 esiintyi alituksia (< 1%). Alitusprosentteissa oli eroja operaattoreiden välillä, mutta alitukset liittyivät kuitenkin sellaiseen tasalaatuiseen päällysteeseen, jonka tyhjätila-arvojen keskiarvo oli vain hieman yli 1% ja alitusten dielektrisyydsarvot olivat tasoltaan hyvin lähellä keskiarvoa.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että vertailuun osallistuneiden operaattoreiden osalta tyhjätilan mittausmenetelmä on erittäin luotettava paikannettaessa merkittäviä dielektrisyydsarvojen vaihtelua tiessä. Dielektrisyyds- tai tyhjätilatason määrittämisessä esiintyy operaattoreiden välillä vaihtelua, joka joissakin yksittäisissä tapauksissa aiheuttaa merkittäviä eroja ylityksien/alitusten osuuksia laskettaessa. Havaitut erot voivat johtua muun muassa eroavaisuuksista mittaustilanteissa, tutkan esilämmitysajoissa ja metallipulssin mittaustilanteissa.

Vertailumittausten yhteydessä saatiin hyödyllistä aineistoa Mara Nord projektin tyhjätilamittauksia koskevaan menetelmäkehitykseen. Raportointi tämän osalta valmistuu vuoden 2011 aikana.

