

# Svenska GPR erfarenheter 2016 - 2019

Erfarenheter från Trafikverket och SBUF-projekt

Torsten Nordgren

Trafikverket UHvätv

[torsten.nordgren@trafikverket.se](mailto:torsten.nordgren@trafikverket.se)

GPR= Ground Penetrated Radar

# Svenska GPR Erfarenheter 2016 - 2019

- Lite bakgrund
- Jämförande mätningar
- Inverkan kalibrering
- Mätning på referensplattor
- Resultat från säsongen 2019
- Inriktning Trafikverket 2020
- Omvärldsbevakning
- Några avslutande ord på vägen

# Hur fungerar GPR-teknik för beläggningskontroll

- Elektromagnetiskt strålning
- Dielektriska material
- Utskickad signal kontra reflekterad tillbaka
- Frekvens avgör djupet på signalen
- Hög frekvens tunnare
- Låg frekvens djupare

$$\epsilon_{HMA} = \left( \frac{1 + \left( \frac{A_0}{A_p} \right)}{1 - \left( \frac{A_0}{A_p} \right)} \right)^2$$



# Typvärden permitivitet

- Luft 1
- Bitumen 2,5 – 3
- Stenmaterial 4-8
- Vatten 60
- Metaller > 30 000
- Normala asfaltmassor 3,5- 7,5

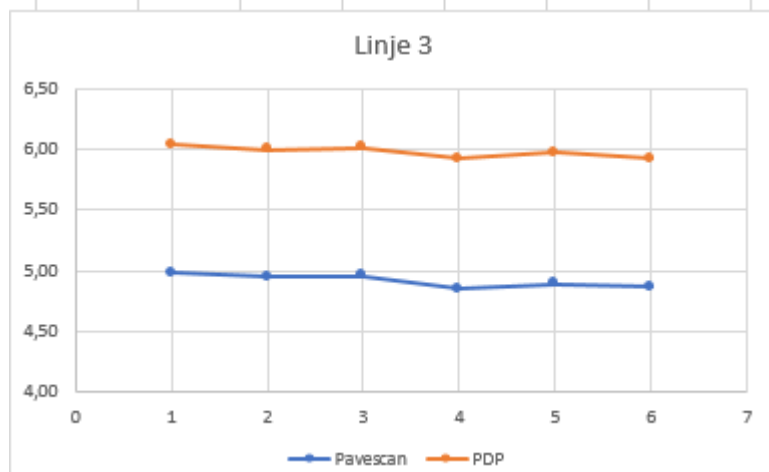
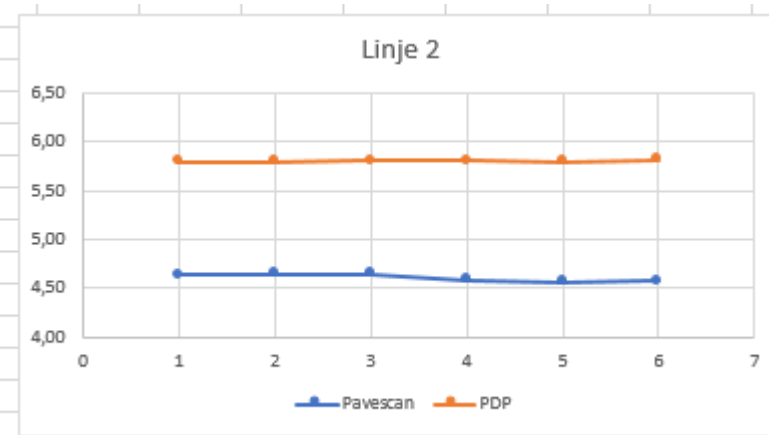
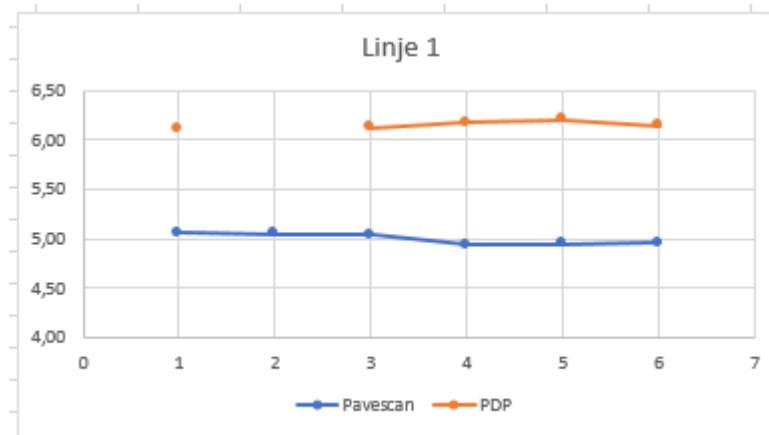
# Jämförelse 2019

- 3 PaveScan RDM och 1 Pavement Density Profiler
- 3 Dagar
- Jämförelse på statiska punkter och mätlinjer



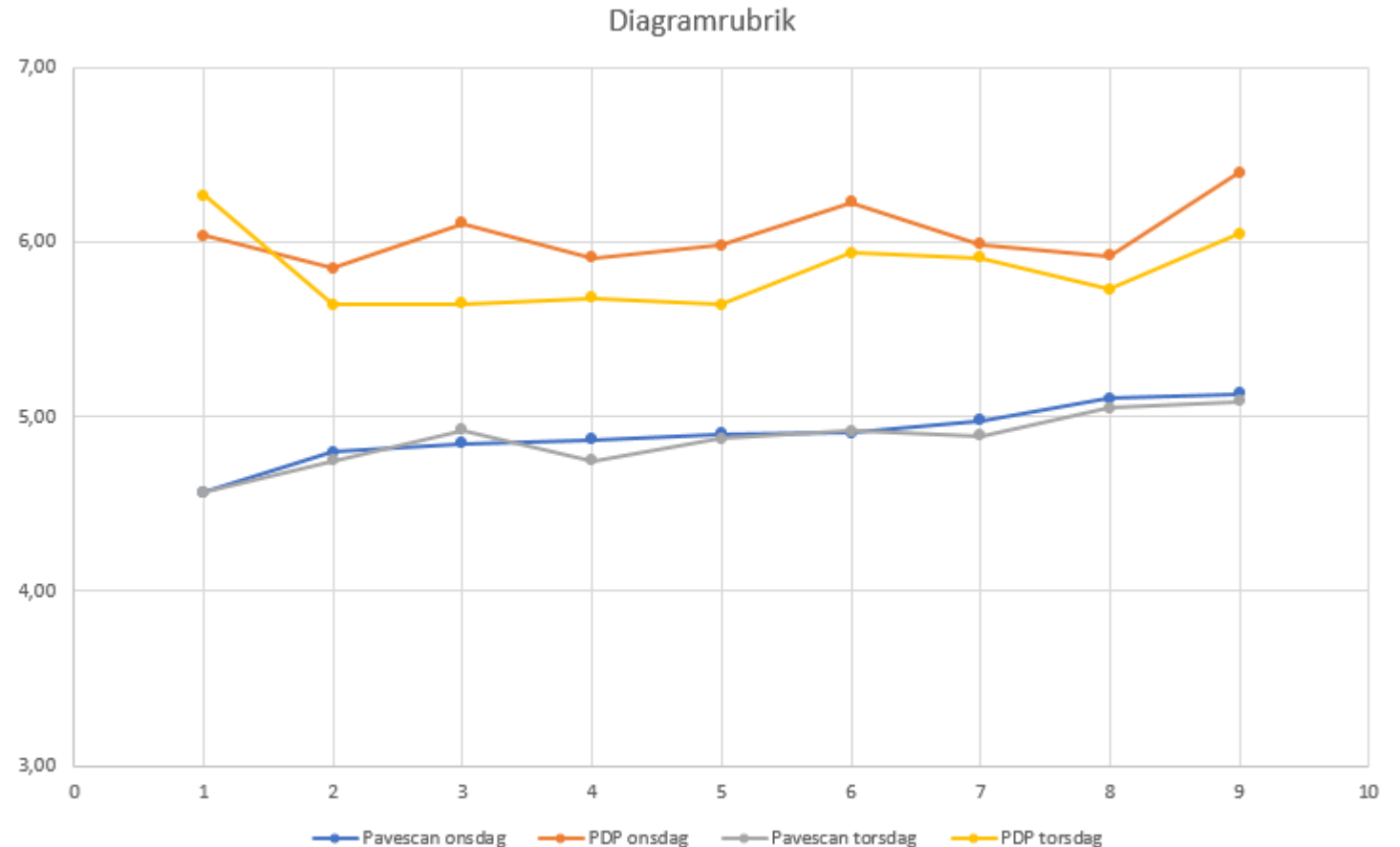
# Mätlinjer

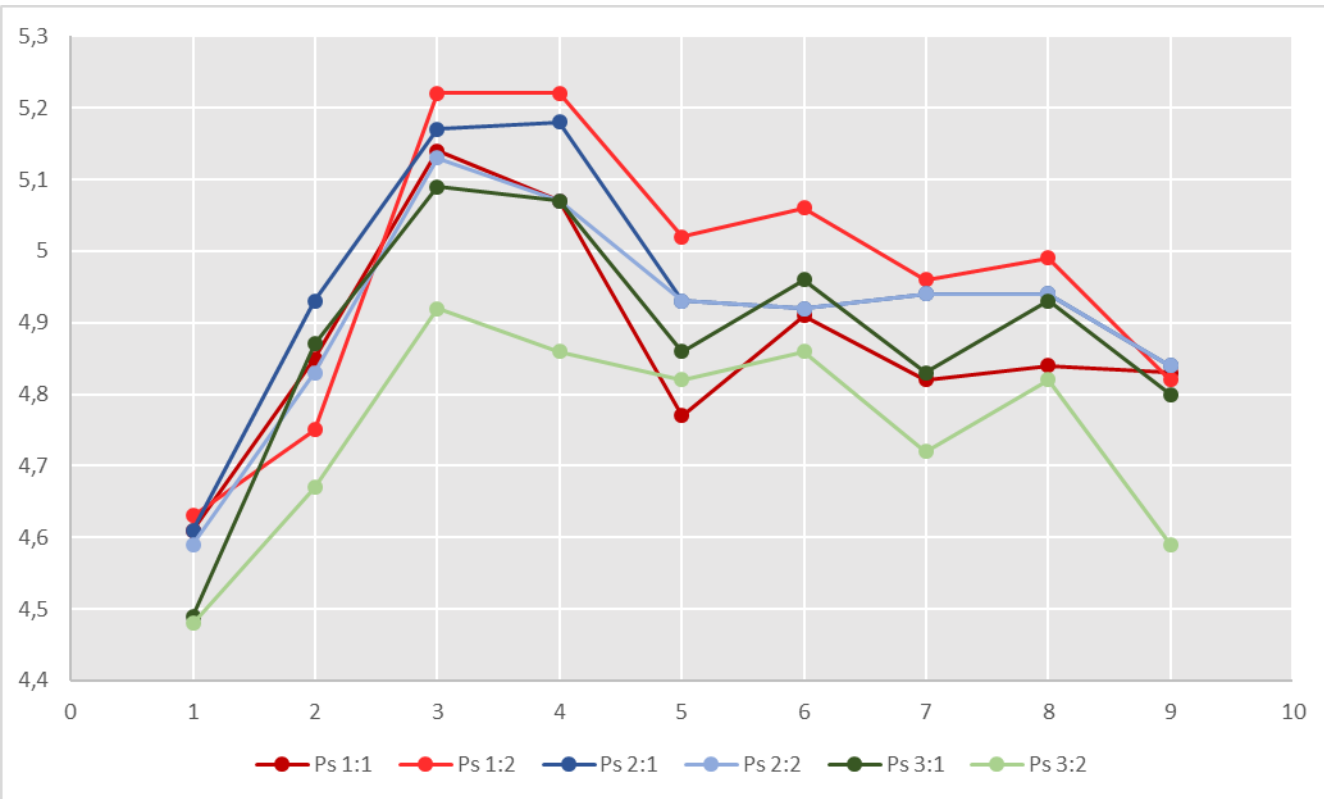
- Jämfört utrustningsvis
- Skillnad i permitivitets nivå mellan olika typer av utrustning



# Punktmätningar

- 9 st punkter
- Mätt över 2 dagar
- Jämfört utrustningsvis
- Systematisk avvikelse
- PDP Känsligare mellan 2 mättillfällen

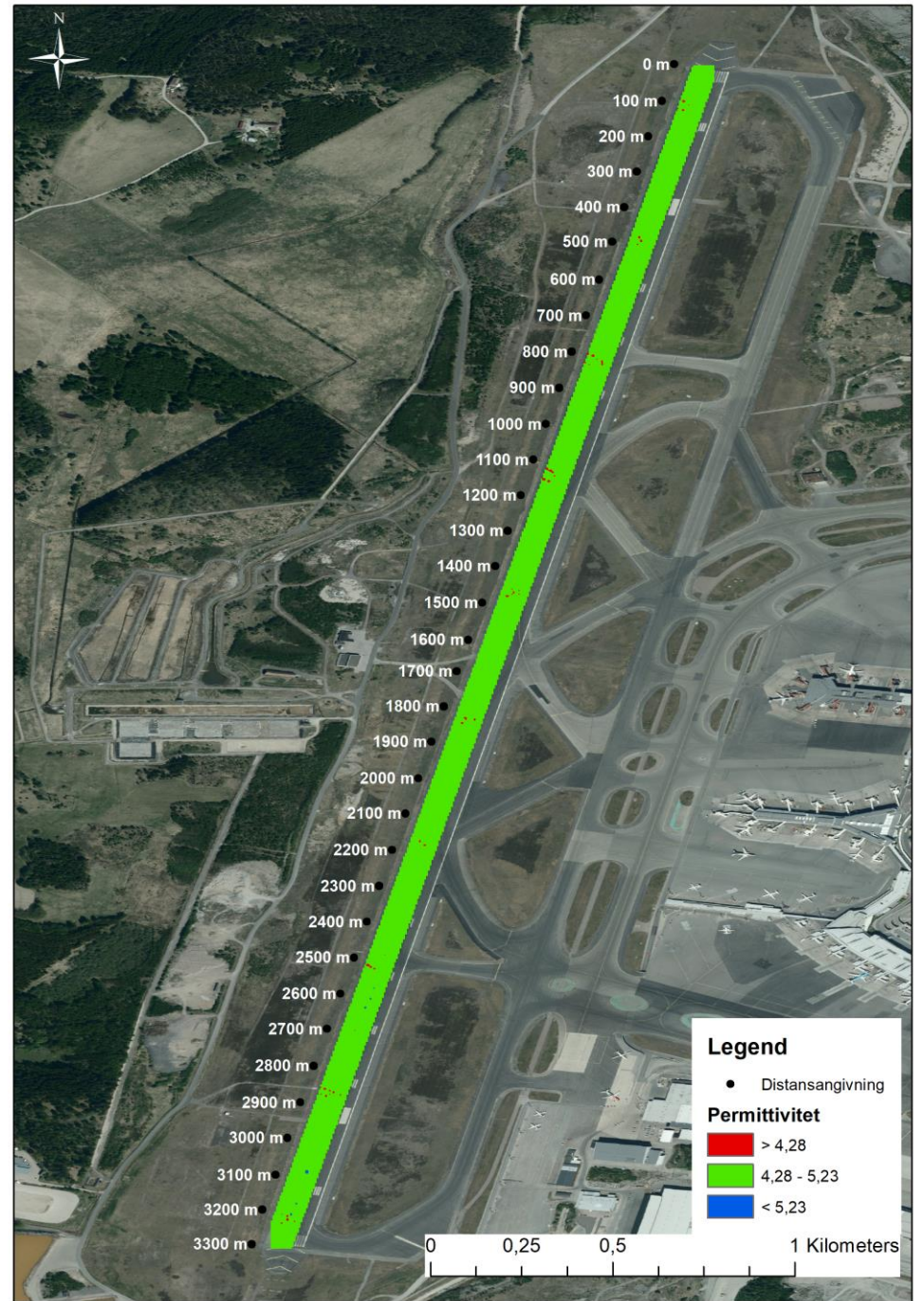
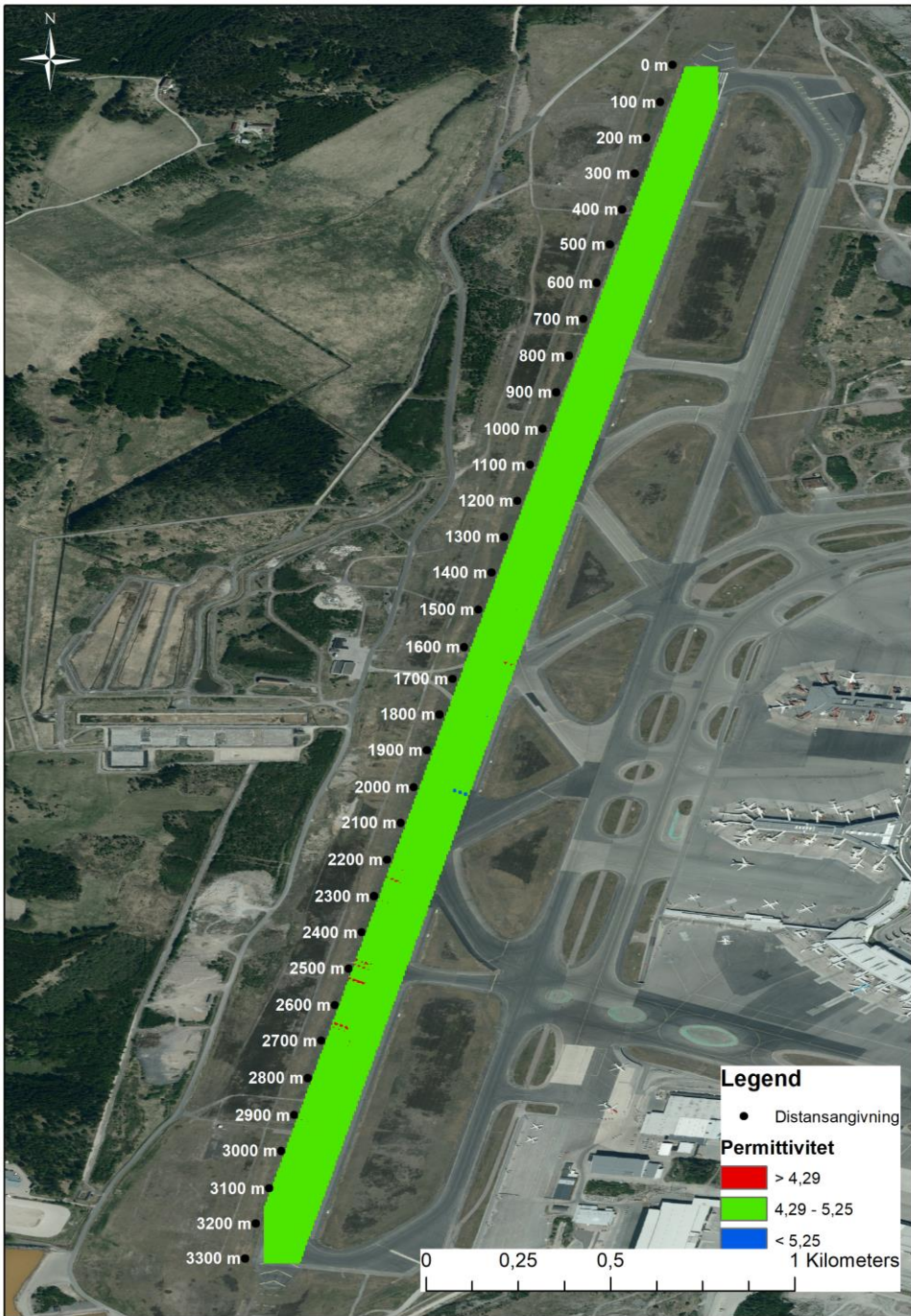




# Punktmätningar

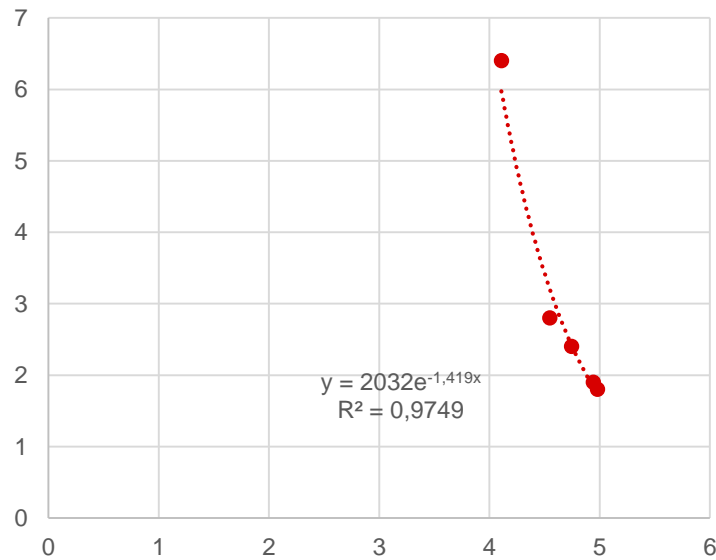
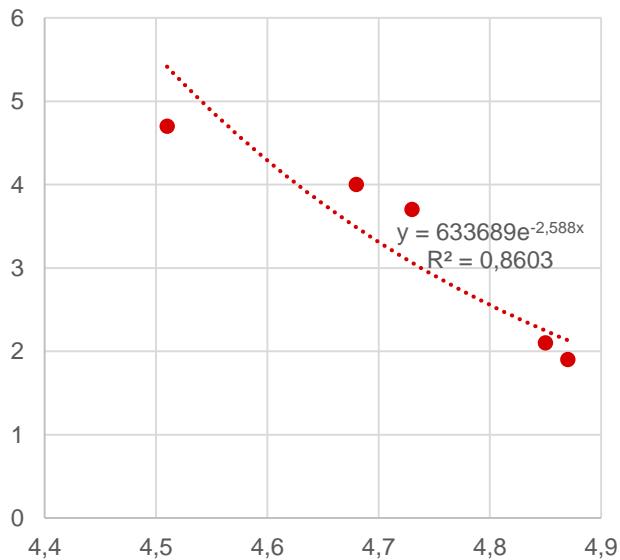
- 9st punkter
- Jämfört mellan bara PaveScan RDM
- 2 mättillfällen





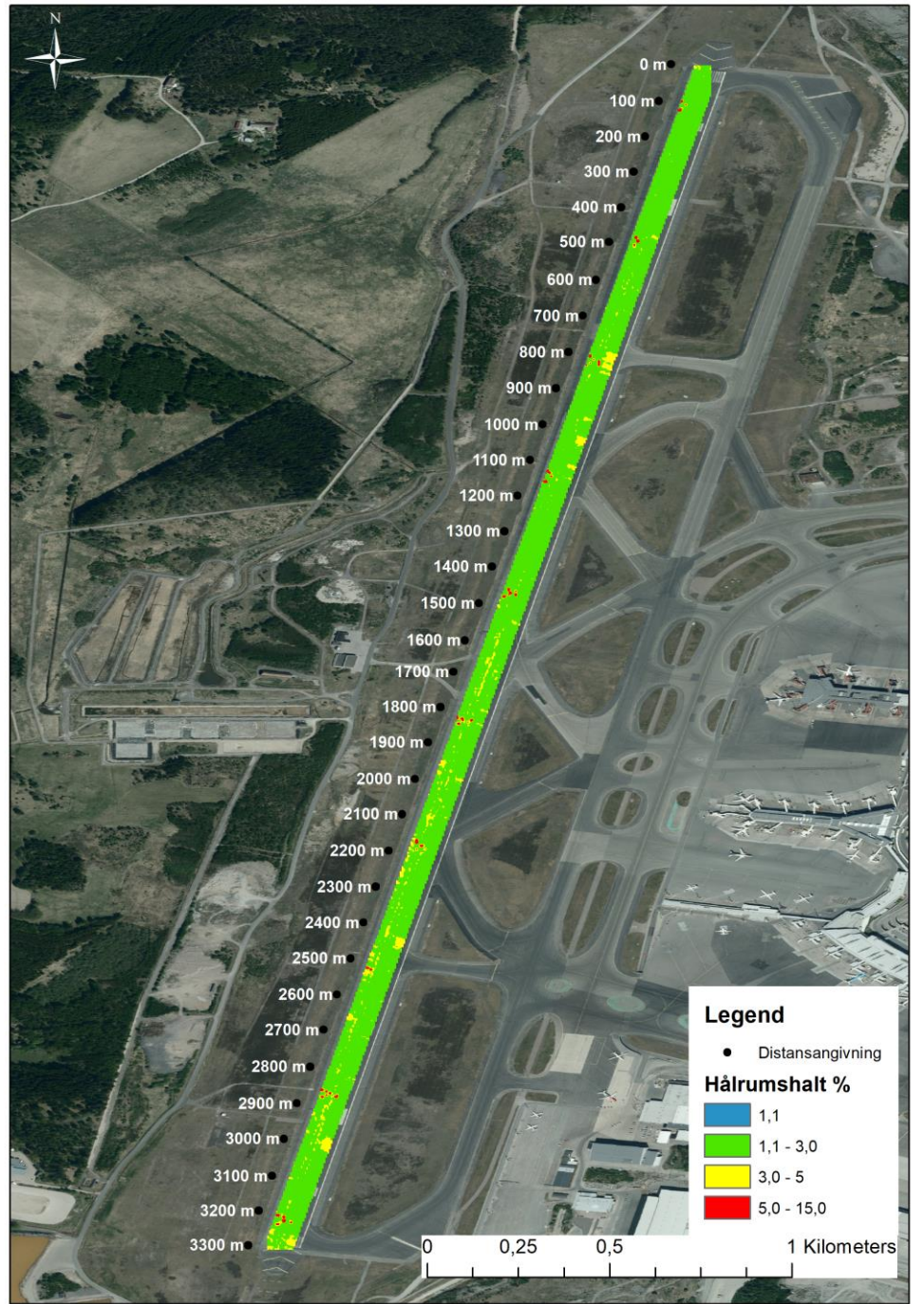
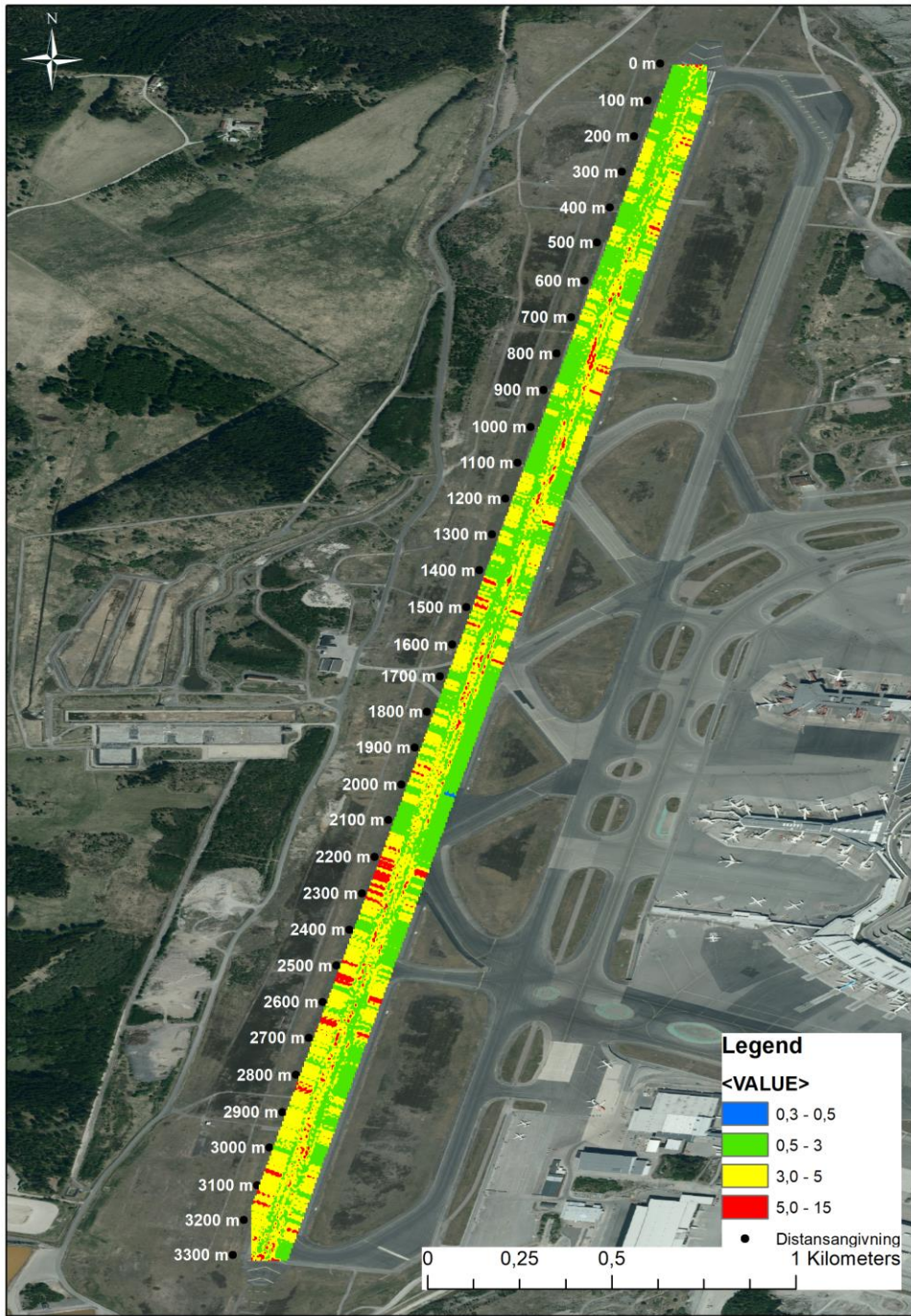
Permittivitet	Hålrums
4,51	4,7
4,68	4
4,73	3,7
4,85	2,1
4,87	1,9

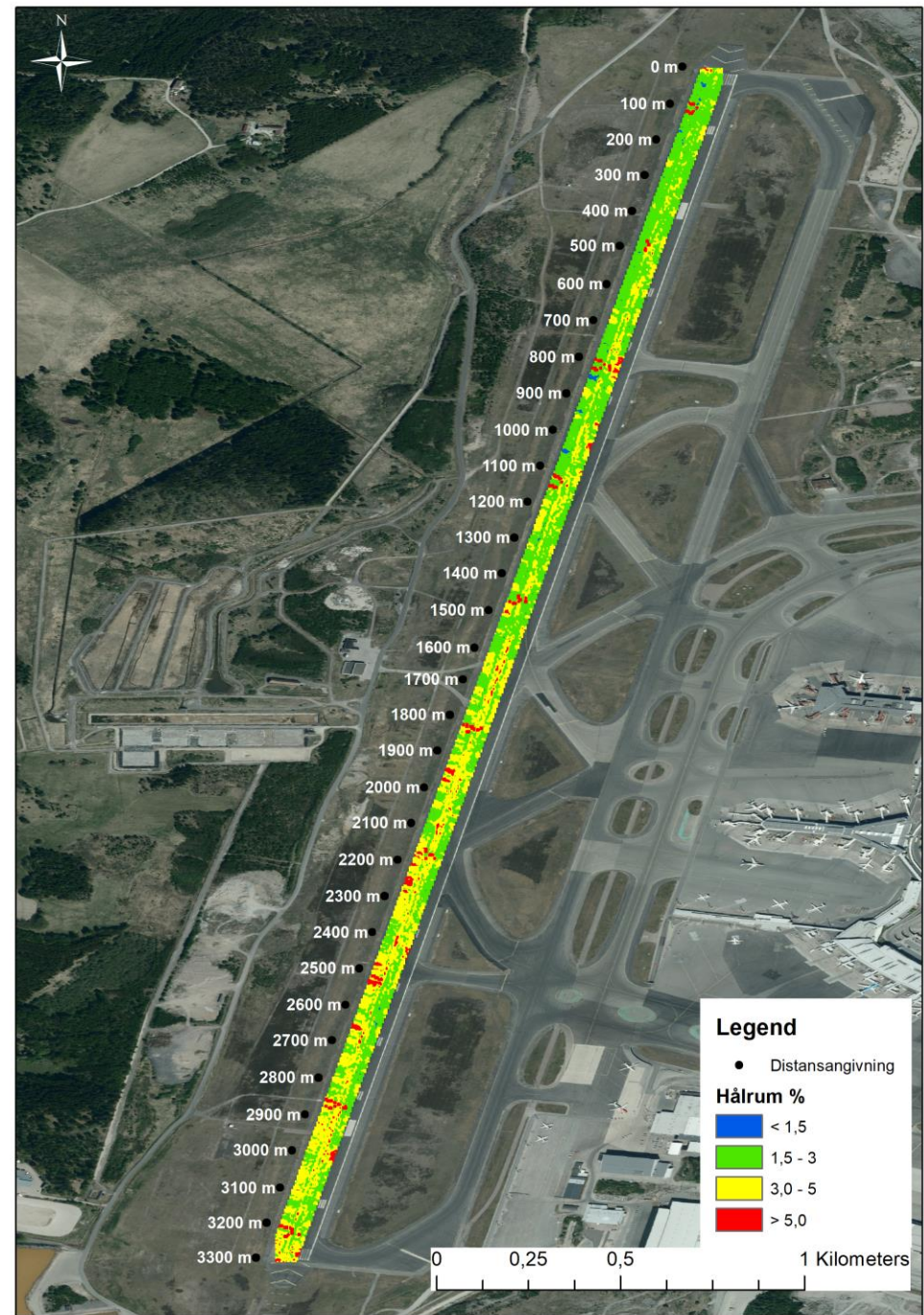
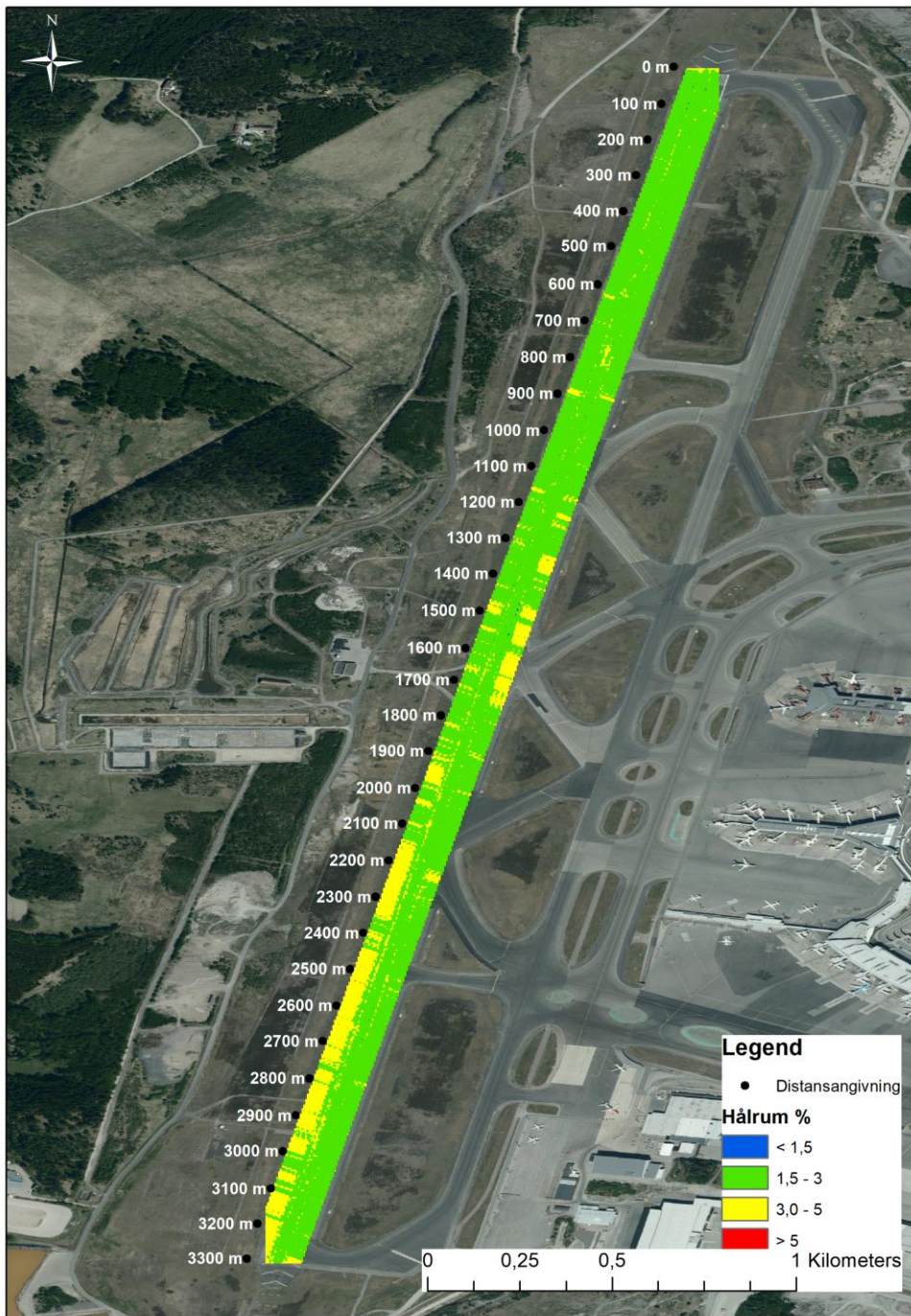
Permittivitet	Hålrums
4,11	6,4
4,98	1,8
4,75	2,4
4,55	2,8
4,94	1,9

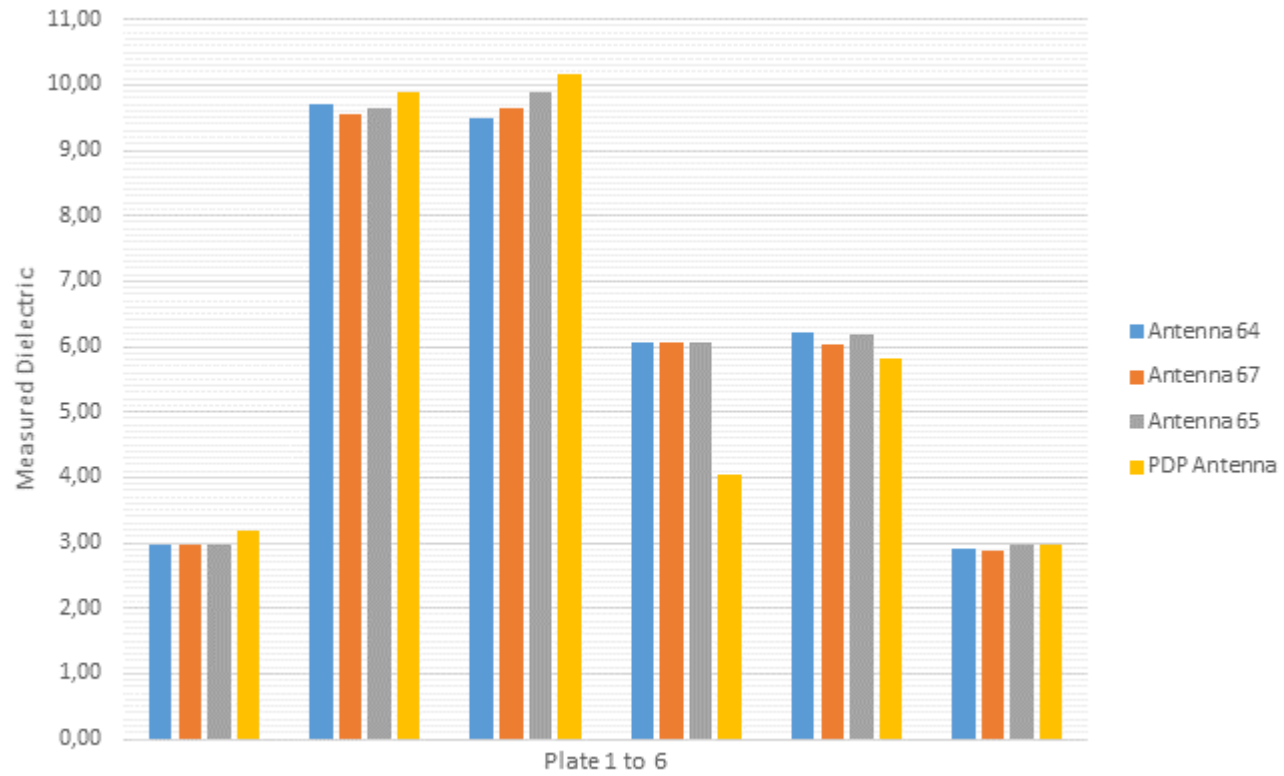


# Korrelation

- 2 kalibreringsserier för korrelation mellan permittivitet och hålrums
- För samma massa
- Inte samma punkter eller borrhärnor







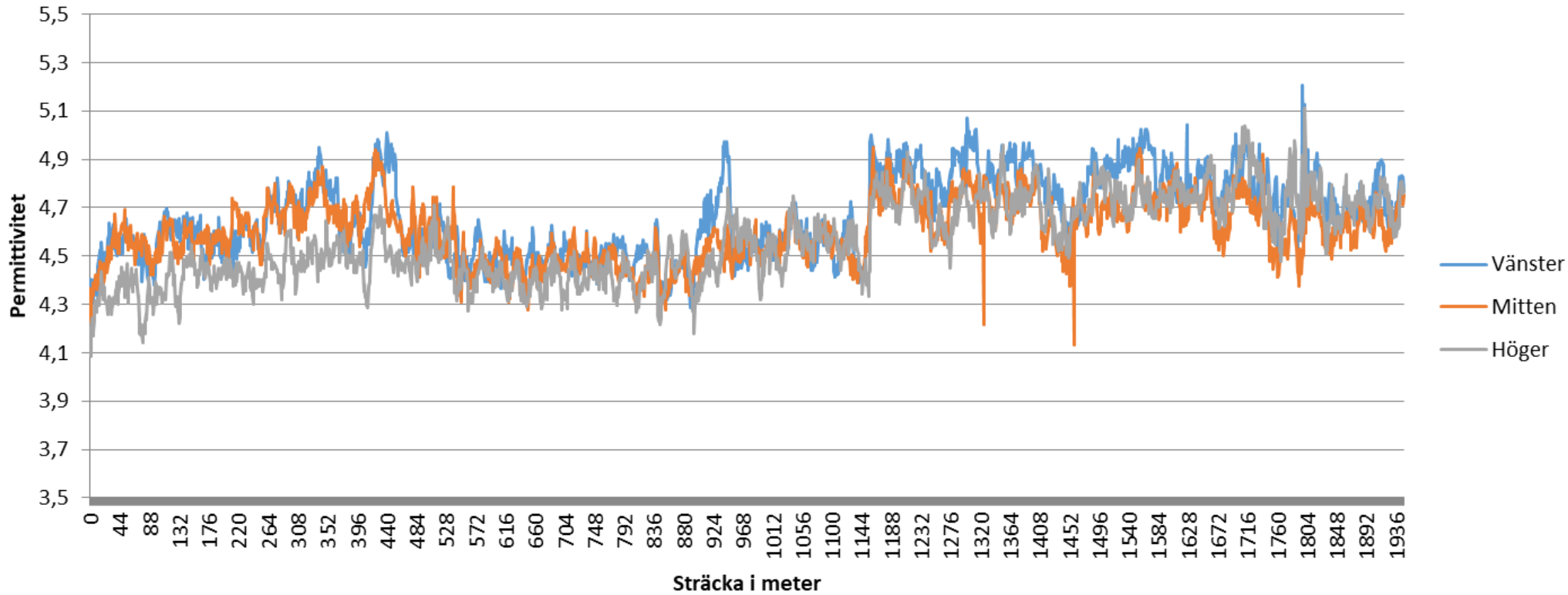
	Max	Min	Diff	Avg	Stdav	p
PDP Platta 1	3,27	3,08	0,19	3,18	0,03	
PDP Platta 4	4,18	3,87	0,31	4,01	0,06	
PDP Platta 5	6,04	5,53	0,51	5,77	0,09	

	Max	Min	Diff	Medel	Std
Platta 1 64	3,02	2,93	0,09	2,98	0,02
Platta 1 65	3,01	2,94	0,07	2,97	0,02
Platta 1 67	3,02	2,94	0,08	2,98	0,01
Platta 4 64	6,17	5,9	0,27	6,05	0,05
Platta 4 65	6,17	5,97	0,2	6,06	0,05
Platta 4 67	6,15	5,95	0,2	6,04	0,04
Platta 5 64	6,33	6,11	0,22	6,21	0,05
Platta 5 65	6,39	5,99	0,4	6,15	0,05
Platta 5 67	6,17	5,83	0,34	6,05	0,07

# Referensplattor

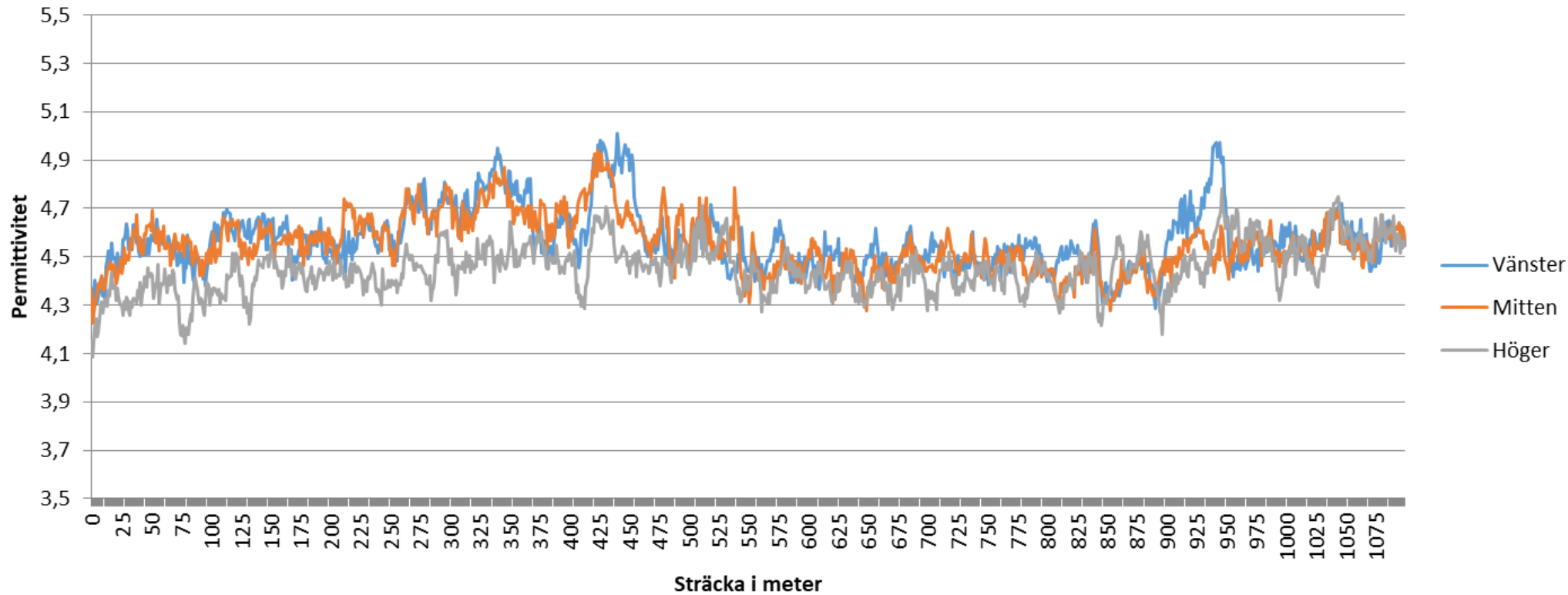
- Lägre amplitud på Pave Sacn
- Inverkan av frekvens
- Statiska mätningar
- 60 sekunder

# Permittivitet



	Vänster	Mitten	Höger
<b>Medel</b>	4,7	4,6	4,6
<b>Std. Avvikelse</b>	0,17	0,13	0,17
<b>Var.Koeff.%</b>	3,62%	2,83%	3,70%
<b>Min</b>	4,3	4,1	4,1
<b>Max</b>	5,2	5,0	5,1
<b>Differens</b>	<b>vä - hö:</b>	0,1	
<b>Differens</b>	<b>mi - hö:</b>	0,1	
<b>Differens</b>	<b>mi - vä:</b>	0,1	

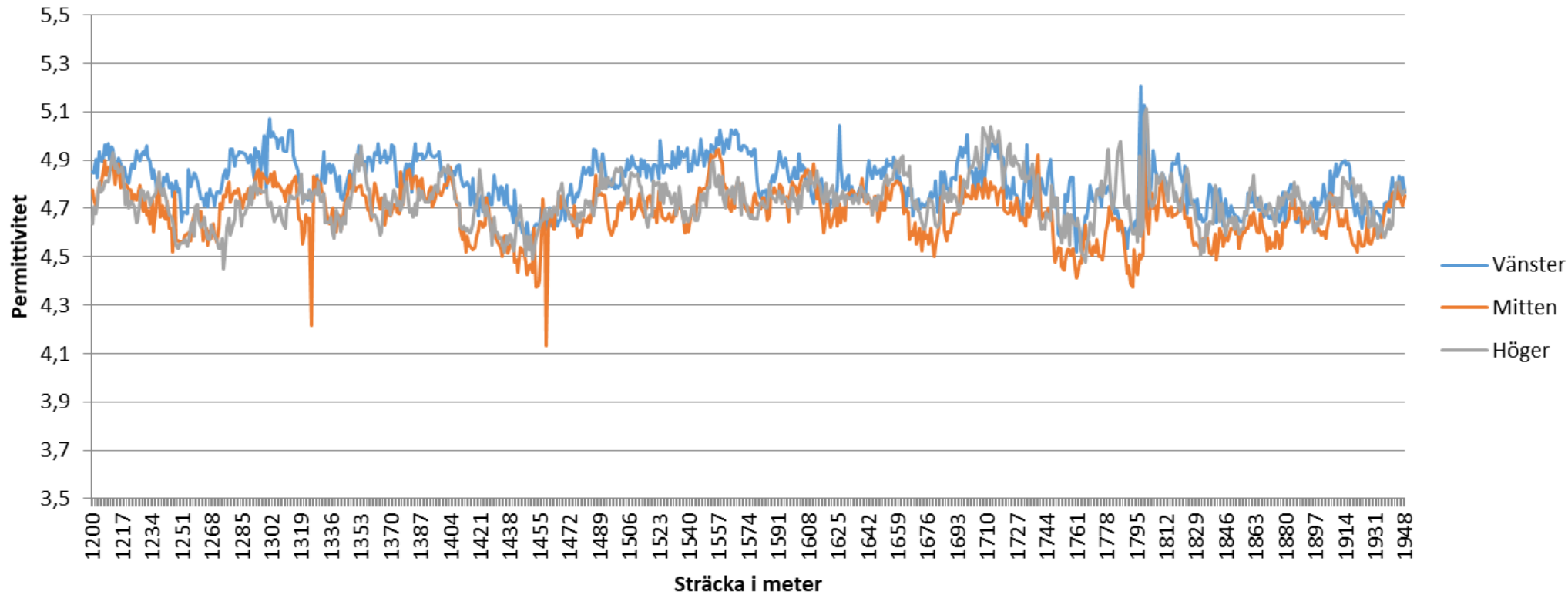
# Permittivitet



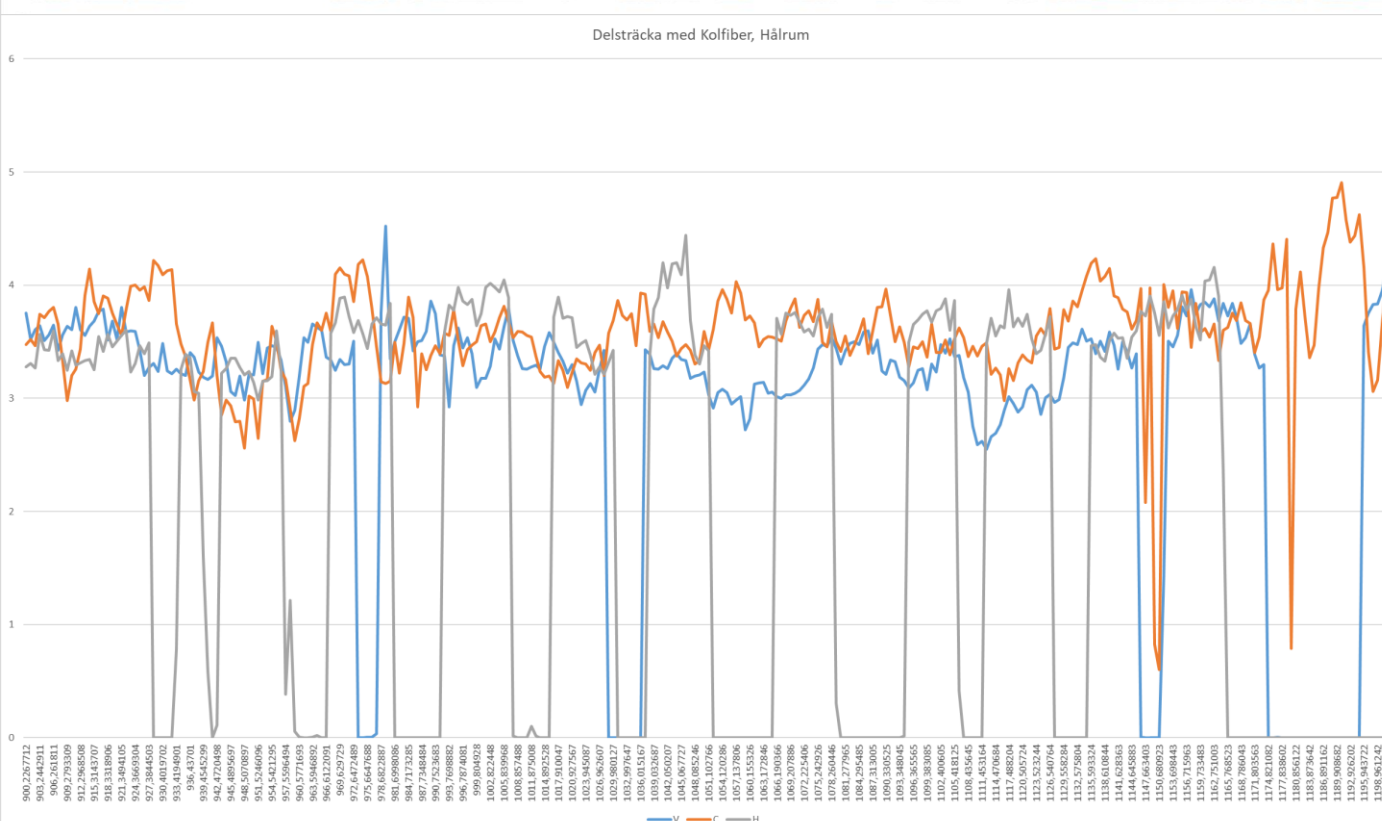
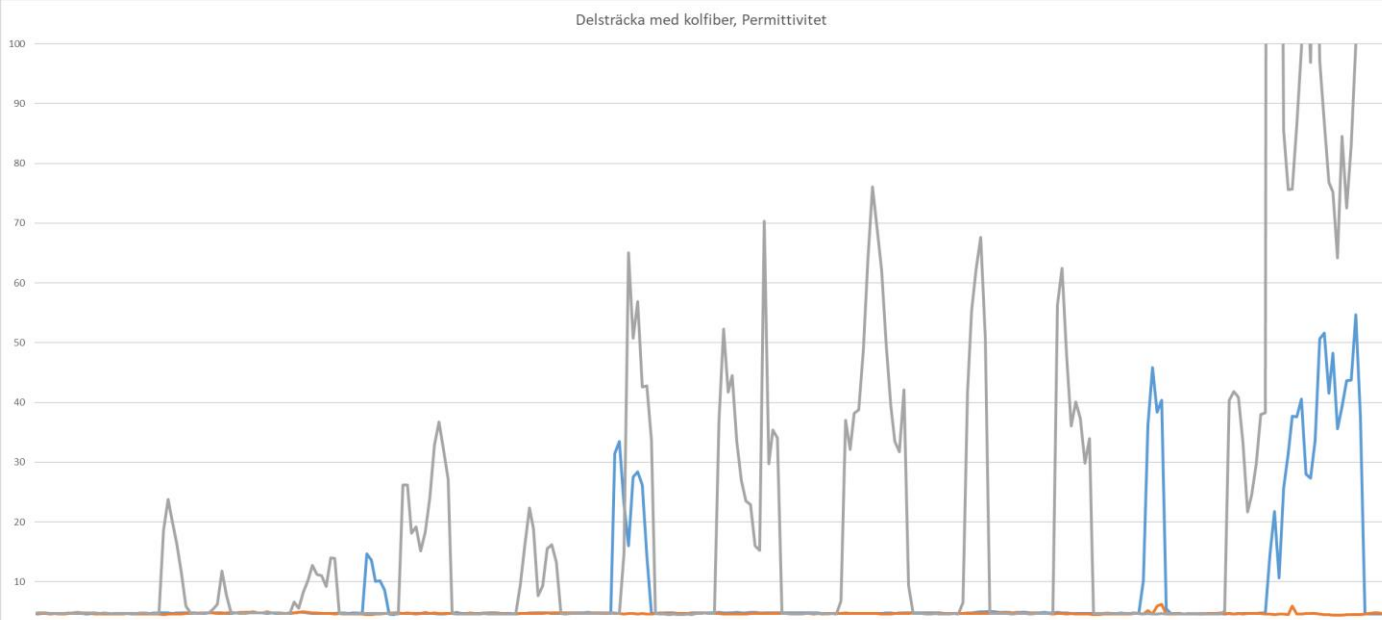
	Vänster	Mitten	Höger
<b>Medel</b>	4,6	4,6	4,4
<b>Std. Avvikelse</b>	0,13	0,11	0,10
<b>Var.Koeff.%</b>	2,83%	2,39%	2,27%
<b>Min</b>	4,3	4,2	4,1
<b>Max</b>	5,0	4,9	4,8
<b>Differens</b>	<b>vä - hö:</b>	0,1	
<b>Differens</b>	<b>mi - hö:</b>	0,1	
<b>Differens</b>	<b>mi - vä:</b>	0,1	



# Permittivitet

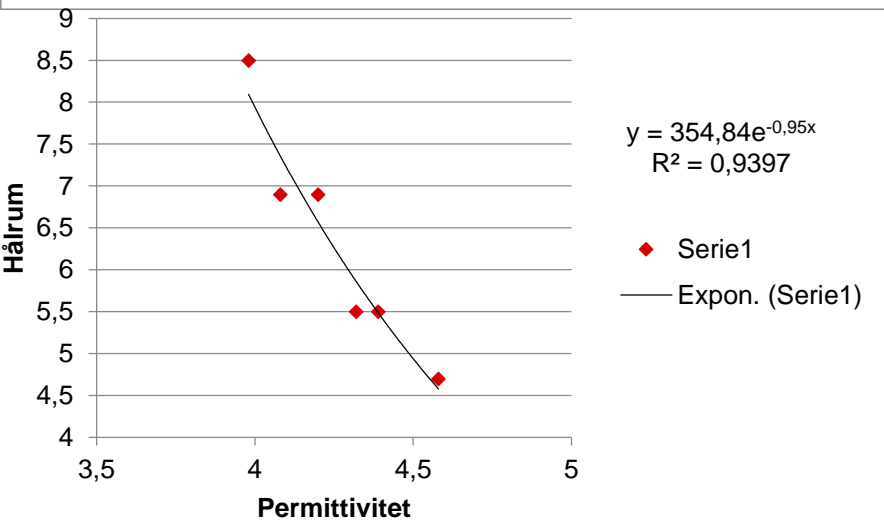
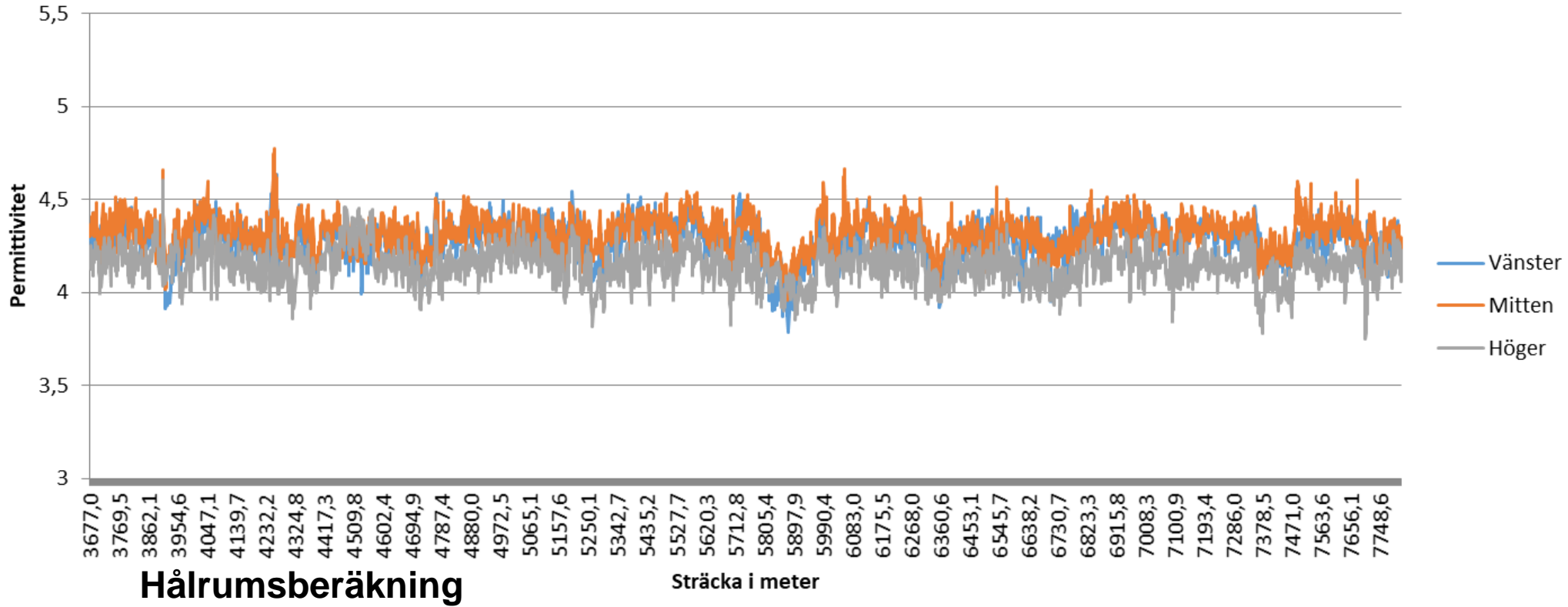


	Vänster	Mitten	Höger
<b>Medel</b>	4,8	4,7	4,7
<b>Std. Avvikelse</b>	0,10	0,11	0,10
<b>Var.Koeff.%</b>	2,08%	2,34%	2,13%
<b>Min</b>	4,5	4,1	4,5
<b>Max</b>	5,2	4,9	5,1
<b>Differens</b>	<b>vä - hö:</b>	0,1	
<b>Differens</b>	<b>mi - hö:</b>	0,1	
<b>Differens</b>	<b>mi - vä:</b>	0,1	



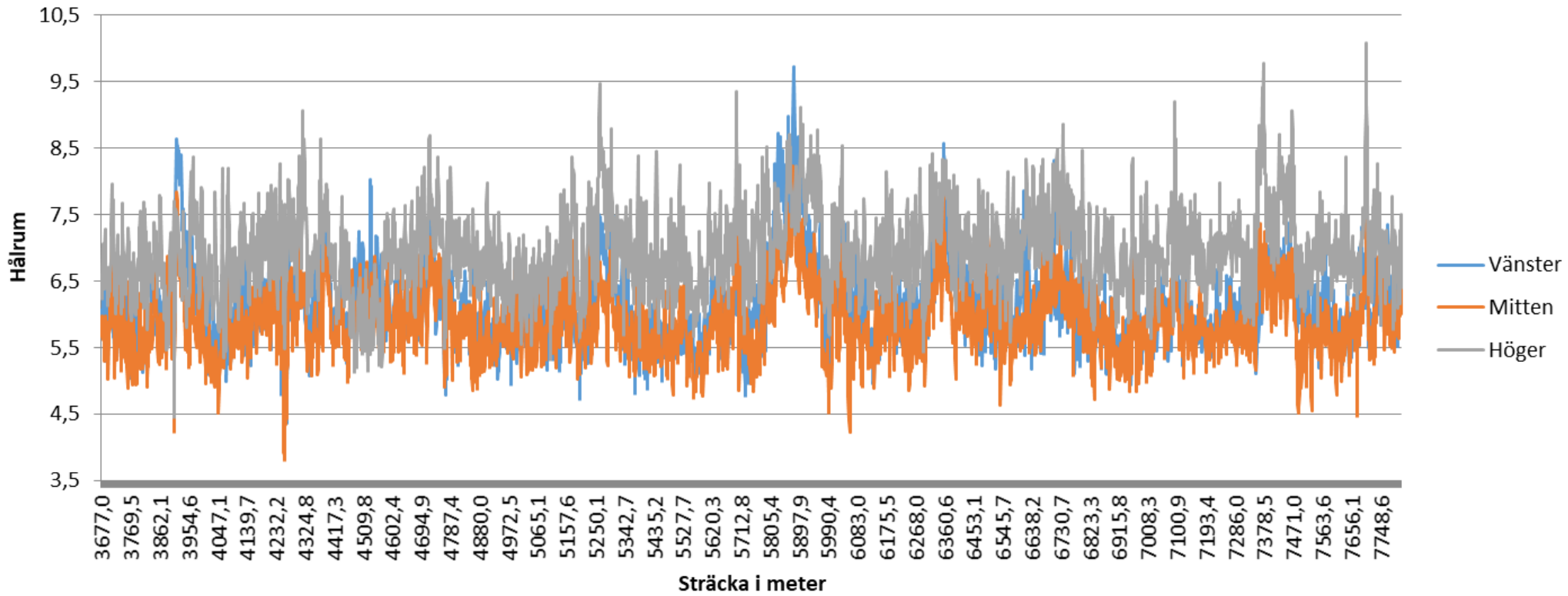
- Mätning med GPR på kolfiberförstärkta lager

# Permittivitet



	Vänster	Mitten	Höger
<b>Medel</b>	4,3	4,3	4,1
<b>Std. Avvikelse</b>	0,10	0,09	0,09
<b>Var.Koeff.%</b>	2,33%	2,09%	2,20%
<b>Min</b>	3,8	4,0	3,7
<b>Max</b>	4,6	4,8	4,6
<b>Differens</b>	<b>vä - hö:</b>	0,1	
<b>Differens</b>	<b>mi - hö:</b>	0,2	
<b>Differens</b>	<b>mi - vä:</b>	0,1	

# Hålrum



	Vänster	Mitten	Höger
<b>Medel</b>	6,1	5,9	7,0
<b>Std. Avvikelse</b>	0,62	0,52	0,63
<b>Var.Koeff.%</b>	10,16%	8,81%	9,00%
<b>Min</b>	4,3	3,8	4,5
<b>Max</b>	9,7	8,2	10,1
<b>Differens</b>	vä - hö:	0,9	
<b>Differens</b>	mi - hö:	1,1	
<b>Differens</b>	mi - vä:	0,4	

# Erfarenheter Entreprenörer/Konsult

- Gjort egna mätningar
- NCC, Skanska, PEAB, SBLT
- ”Ser potential, beredd att investera”
- ”Trafikverket måste driva”
- ”Problem med korrelation”
- ”Mer rättvist”
- ”Trafiksäkerhet/Minskad borrning”
- ”Utrustning bör vara bilburen”
- ”Förbättrad produktionsuppföljning”



# Pilotprojekt 2020

Skarpt läge i kontrakt

# Svensk ambition 2020

- Prova GPR i kontrakt 2020
- Ersätter delvis borring
- Primärt entreprenör som ansvarar för mätning
- Heltäckande mätning
- Mäter på slutprodukt
- Förhoppning om mindre variation utfört till rätt kvalitet

# Pilotprojekt 2020

- Krav på mätning i kontrakt
- Tre geografiska regioner
  - Norra Skåne
  - Göteborg
  - Stockholm
- 15 -20 olika beläggningsobjekt
- Mestadels slitlager något objekt bindlager
- Fokus är Variation (homogenitet)
- Avvikande yta >  $\pm 10$  % avvikelse från objektets medelvärde



# Mätförfarande

- Enligt metod beskriven i teknisk rapport
- Inom 5 dygn efter utförandet på torr yta med max temp 60 grader
- Entreprenör ansvarar för mätning
- Minst 3 mätlinjer upp till 4,5 m läggnings bredd
  - Bredareläggning mer mätlinjer
- Resultat redovisas som medelvärde för varje m och mätlinje
- Digitala rådata till beställaren senast dagen efter.
- Kontroll objekt 10 000 m eller 45 000 m<sup>2</sup>

# Bedömning homogenitet

- Objektet bryts ner i 100 m sträckor
- Bedömning på skillnad mellan linjer samt spridningsbild i längdled
- Har idag inte underlag för fasta kravgränser
- Ingen ekonomisk reglering avseende homogenitet
- Hjälps dokument för bedömning homogenitet planeras att tas fram till beläggningssäsongen 2020

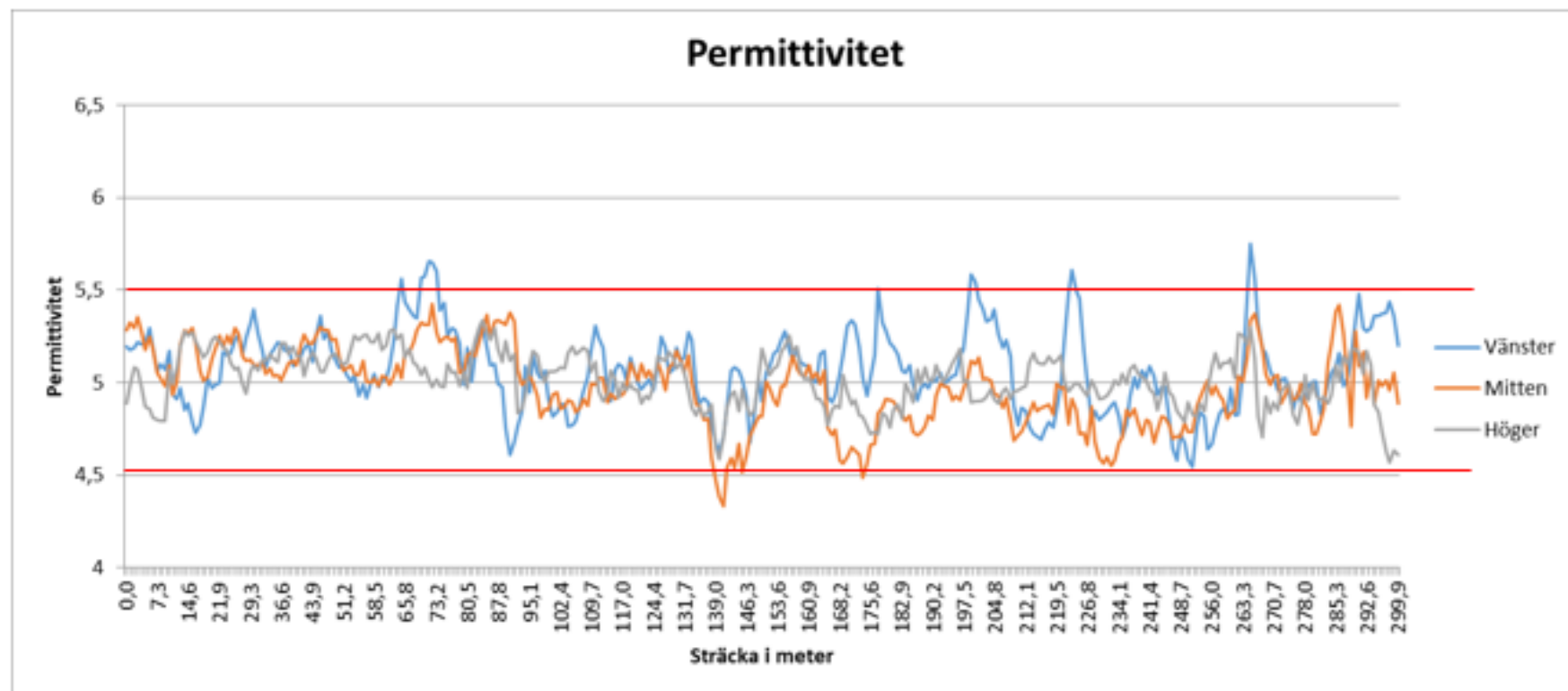
# Hålrums halt

- Ingen kalibrerings borring
- Ordinarie hålrumskontroll om provtagning del ytor om 3 000 m<sup>2</sup> utgår om mer än 90 % av längden mätts med Georadar
- Stickprov hålrum normalt 2 platser i respektive kontroll objekt
- Val av borrhpunkt baseras på resultat av permitivitets mätning.
- Antingen riktad
  - Vid avvikande parti uppåt respektive neråt i största avvikande parti
- Homogena ytor (inga tillräckligt stora avvikande ytor)
  - Slumpmässigt över hela ytan
- Analys av A-prov och B-prov medelvärde av dessa gäller
- Beläggningsens ordinarie krav gäller
- Rekommendation att mäta permitivitet i borrhpunkter

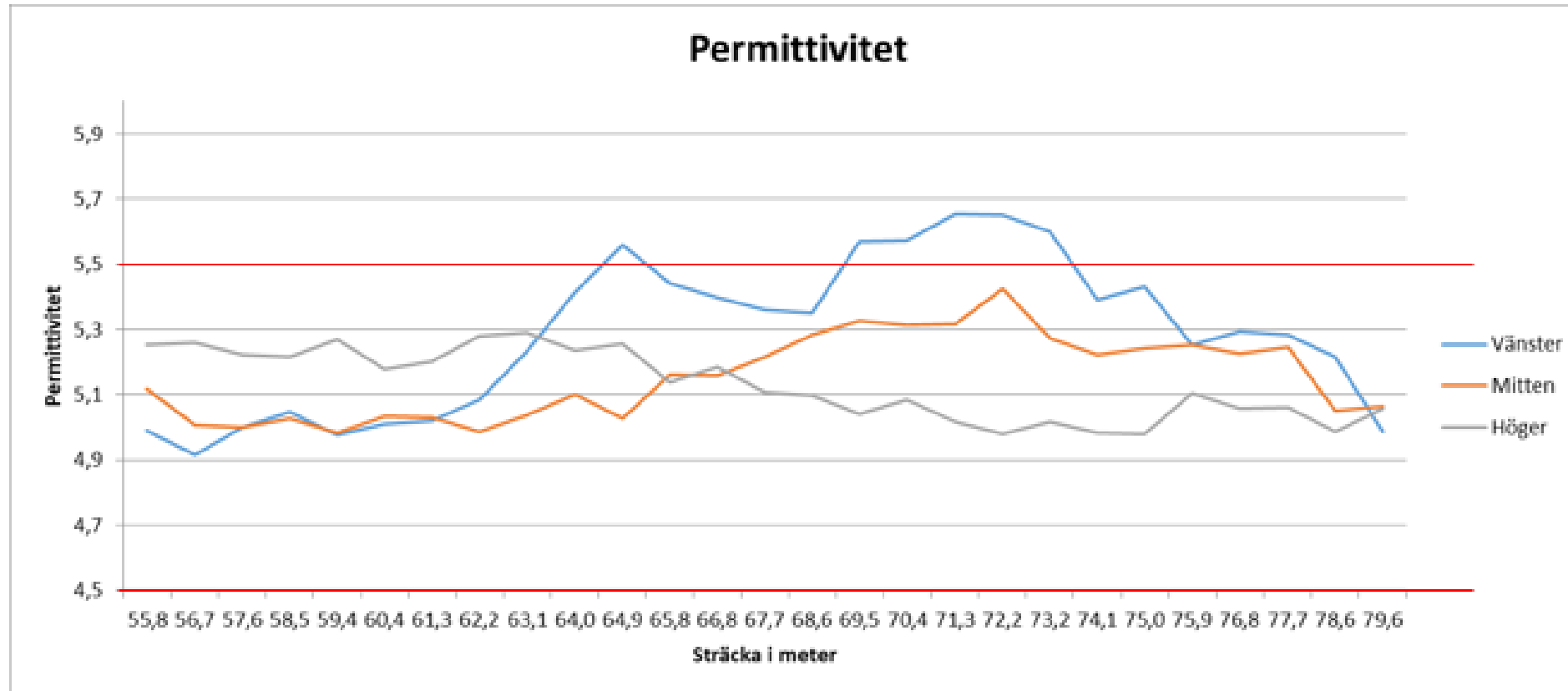
# Filtrering av enskilda avvikande värden

- På grund av störningsfaktor såsom
  - Vatten
  - Brunnar mm av metall
- Skall filtrering utföras vid beräkningar
  - Värden utanför 3,5 – 7,5 tas bort
  - Antalet som tas bort ska anges

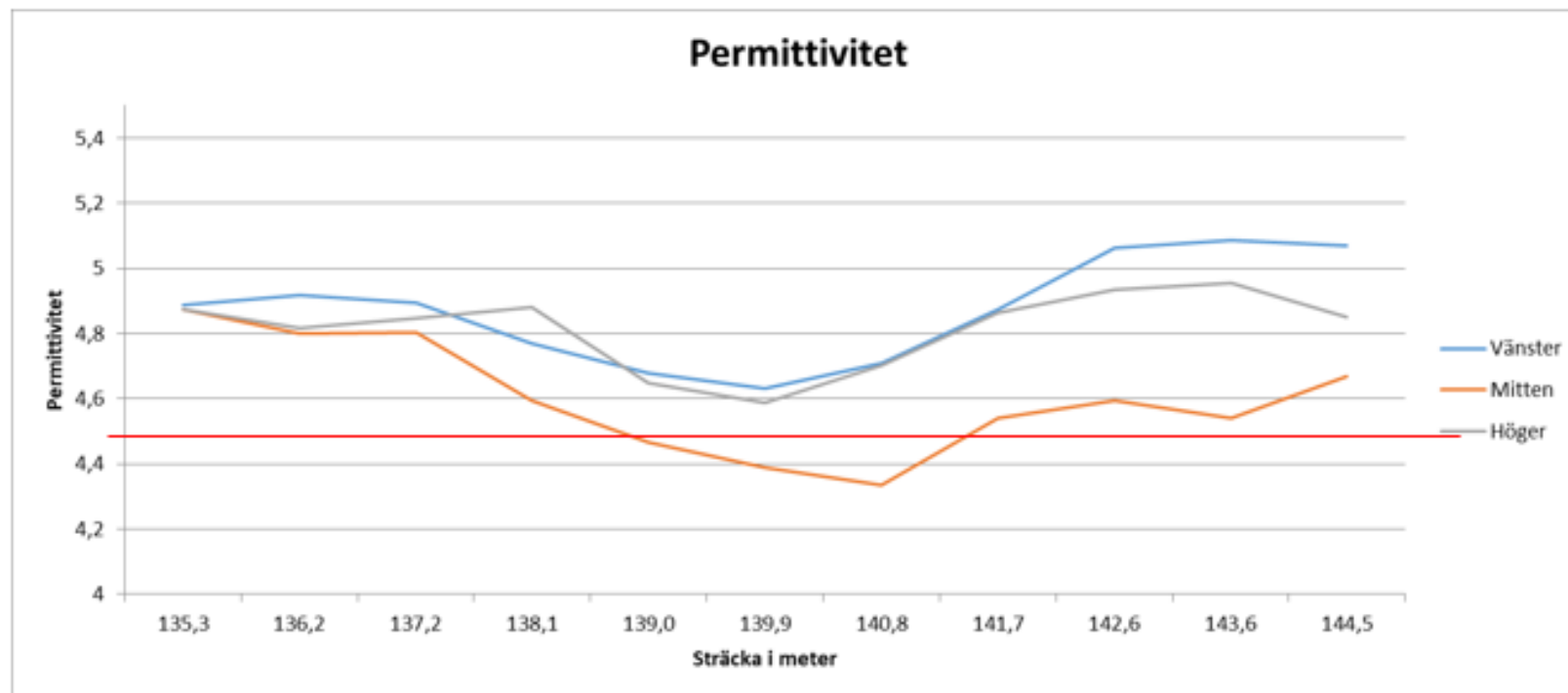
Nedan visas typexempel avseende en utförd mätning.



I grafen ovan syns en uppmätt sträcka som är 300m lång med en bredd på 4,5m som har, enligt våra erfarenheter, relativt stor variation i permittivitet med en amplitud som är  $>1,0$ . Beläggningar som uppvisar små variationer har en amplitud som är  $\approx 0,5-0,6$ . De röda strecken markerar på vilken nivå av permittivitet som överstiger  $\pm 10\%$  från det uppmätta medelvärdet för alla mätlinjer d.v.s. 4,5 och 5,5. Det motsvarar 299 st punkter av 9846 st punkter vilket motsvarar ca 3 % av den mätta ytan.



För att hitta borrhöjningar zoomar vi in i det område som har största avvikelse uppåt och det innebär mellan 69 – 74m från start, i position för vänster antenn (vänster hjulspår). Det betyder att denna yta är tillräckligt stor för att betraktas som en avvikande yta där borrhöjning ska tas p.g.a. längden är lika med eller större än 5,0m.



Vid det avvikande området nedåt som är mindre än 4,5, mellan 139 – 141m från start i position för mitten antennen, är inte området tillräckligt stort för att varken ta borrhov eller bedömas som avvikande parti nedåt för att ytan är mindre eller lika med 2,0m.

Det betyder att för detta objekt så ska ett borrhov tas i området 69-74m från start i position för vänster antenn och ett borrhov ska tas i slumpad yta någonstans över hela objektets yta.

Mätt yta motsvarar ca 450m<sup>2</sup> av totala utförda 1350m<sup>2</sup> (300m \* 1,5m, varje mätlinje har en bredd på 0,5m). Av den totala uppmätta ytan av 450m<sup>2</sup> är 2,5m<sup>2</sup> utanför 10 % gränsvärde i permittivitet (längden för varje avvikande yta \* bredden av mätlinjen, 5m\*0,5m), alltså över 5,5 och under 4,5. Det motsvarar 0,5 % av total uppmätt yta som är underlag för eventuellt vite vid avvikande hålrumshalt.

Tabell 2 Exempel på andel avvikande mätpunkter från olika mätobjekt baserat på  $\pm 10\%$  avvikelse från medelvärdet.

	Antal mätpunkter	Underkända mätpunkter	Andel underkända mätpunkter
Objekt 1	417858	3981	0,9 %
Objekt 2	78576	30	0,04 %
Objekt 3	382845	2355	0,6 %
Objekt 4	15000	8	0,05 %
Objekt 5	89547	2266	2,5 %

Ovanstående tabell visar på totala andelen avvikelser såväl uppåt som nedåt från mätta objekt som visat sig ha såväl små variationer som stora variationer. I antalet underkända mätpunkter ingår delytor som är kortare än 2m, skulle dessa filtreras bort skulle andelen underkända mätpunkter minska. Som framgår av tabellen är totala andelen underkända ytor låg, till mycket låg.

Vår erfarenhet kring georadarmätning är att objekten inte har avvikelser av den dignitet att de i större omfattning inte faller utanför de kriterier som är uppsatta i dokumentet för pilotmätningar 2020.



# Fortsatt utveckling

- Samarbete i Norden
  - Kontinuerligt erfarenhetsutbyte
  - Om möjligt gemensam mätmetod
- Kontinuerlig dialog med utvecklare av utrustning
- Mätning på laborietillverkade provkroppar av asfaltsmassa
- Bearbetning av data & Rapportering
- Mätning i högre hastighet
- Följa upp pilotprojekt 2020
- Alternativa utrustningar

# Internationella erfarenheter



Photos courtesy: Geophysical Survey Systems, Inc.

Asphalt Mixture Compaction Assessment Using  
Ground Penetrating Radar (GPR) Dielectric Profiling Systems (DPS)

# User Group Peer Exchange

(January 15, 2020)



U.S. Department of Transportation  
Federal Highway Administration



# MnDOT History



File

## Standard Practice for Asphalt Surface Dielectric Profiling System using Ground Penetrating Radar

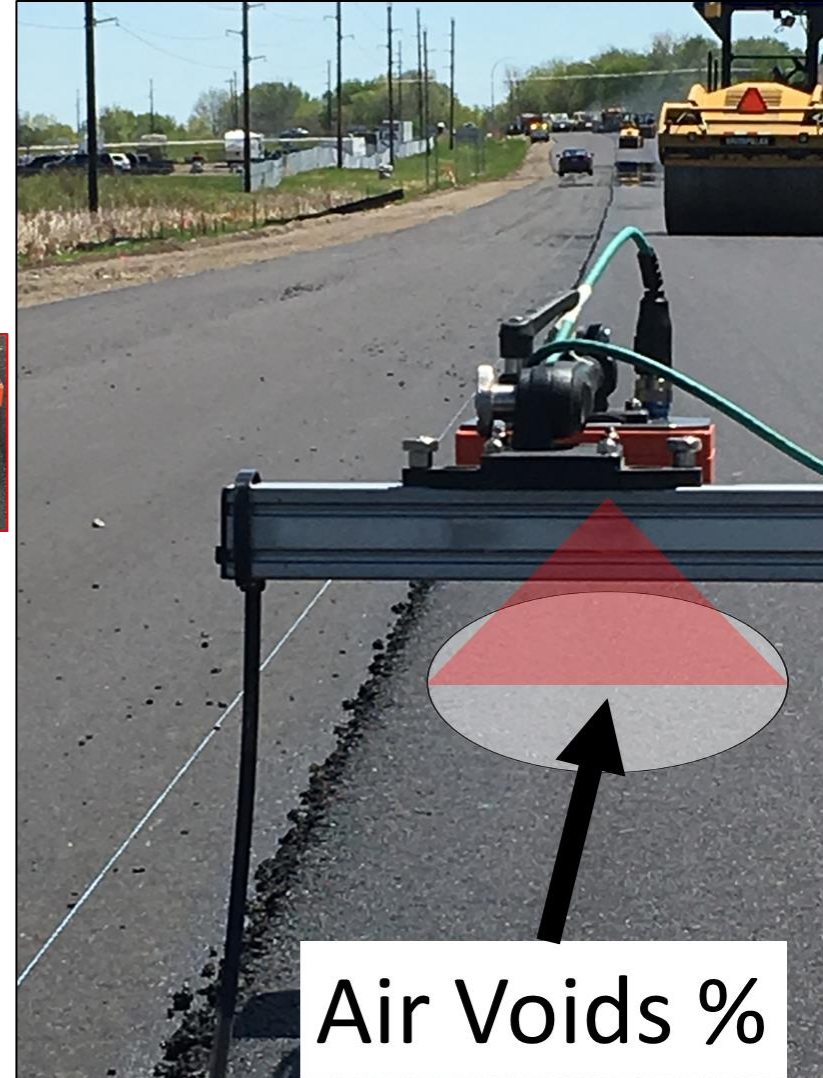
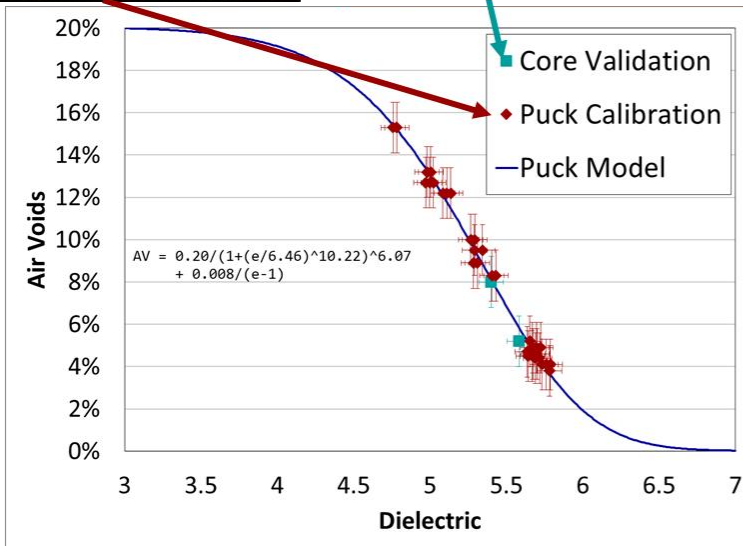
AASHTO Designation: PP 98-19<sup>1</sup>

Technical Subcommittee: 5c, Quality Assurance  
and Environmental

Release: Group 1 (April)



# Continuous Coreless Density Assessment



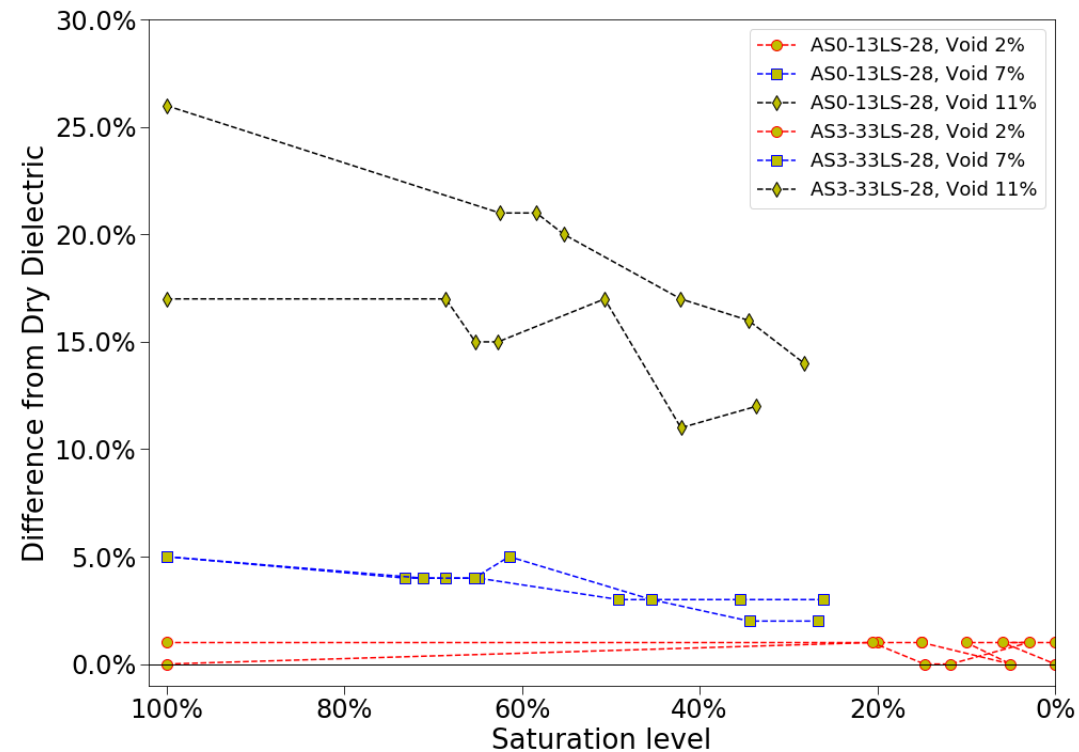
# Results

## ➤ Effect of moisture

- Samples SSD saturated
- Frequent testing and weighting
- For a total of 21 days

The effect of moisture can't be neglected and is more pronounced in coarse mixtures

Second mixture

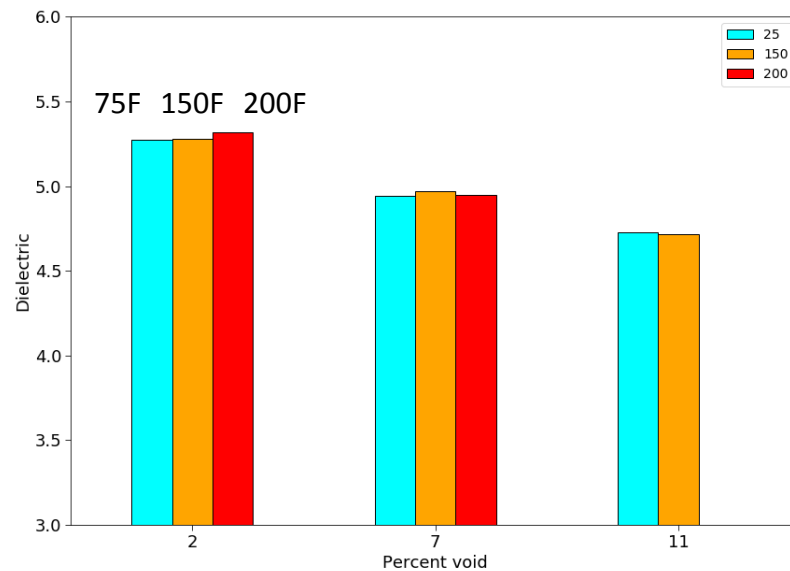


# Results

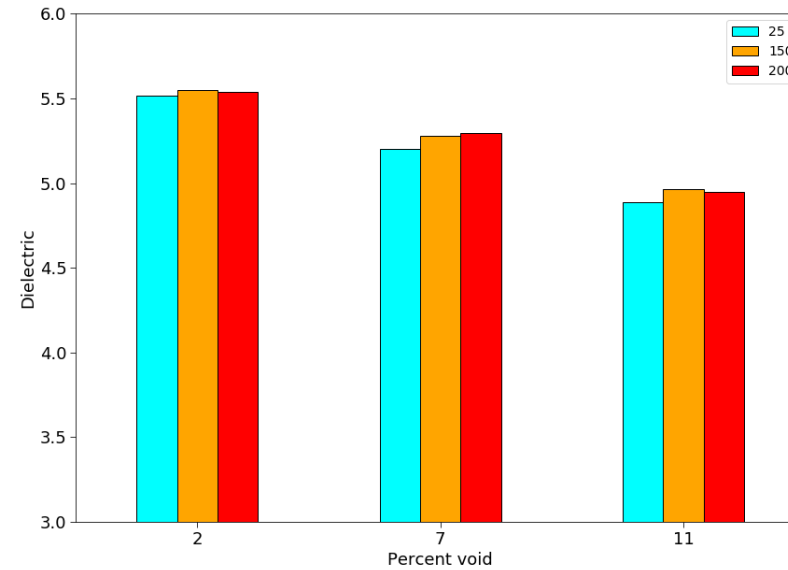
## ➤ Effect of Temperature

- No significant effect
- Specimen failures at the highest temperature and highest air void

It shouldn't matter how soon or late after compaction you test your mat



AS1: 18% Lime Sand & 0% RAP



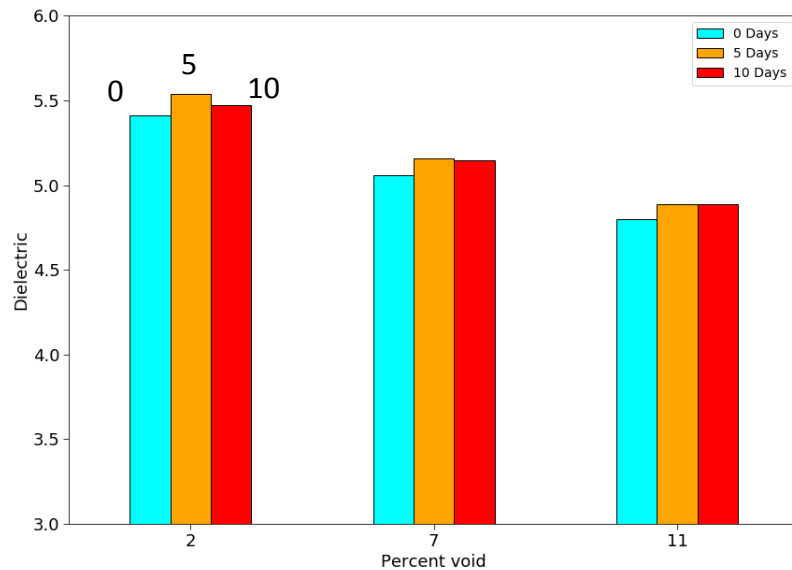
AS2: 23% Lime Sand & 10% RAP

# Results

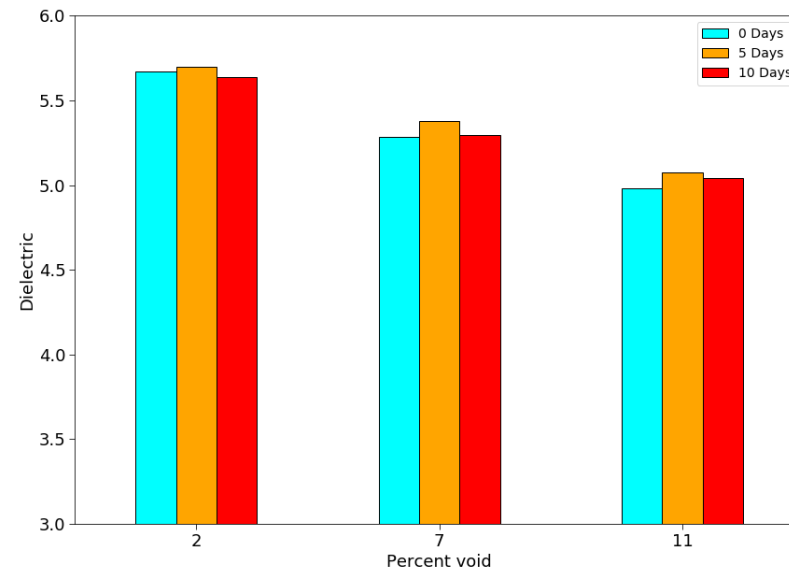
## ➤ Effect of Aging

- Simulated short term aging in oven
- 0, 5, and 10 days at 90°C (194°F)
- No significant effect

Roads closed to traffic and free from disturbances (i.e., rain), testing in days after compaction ?!



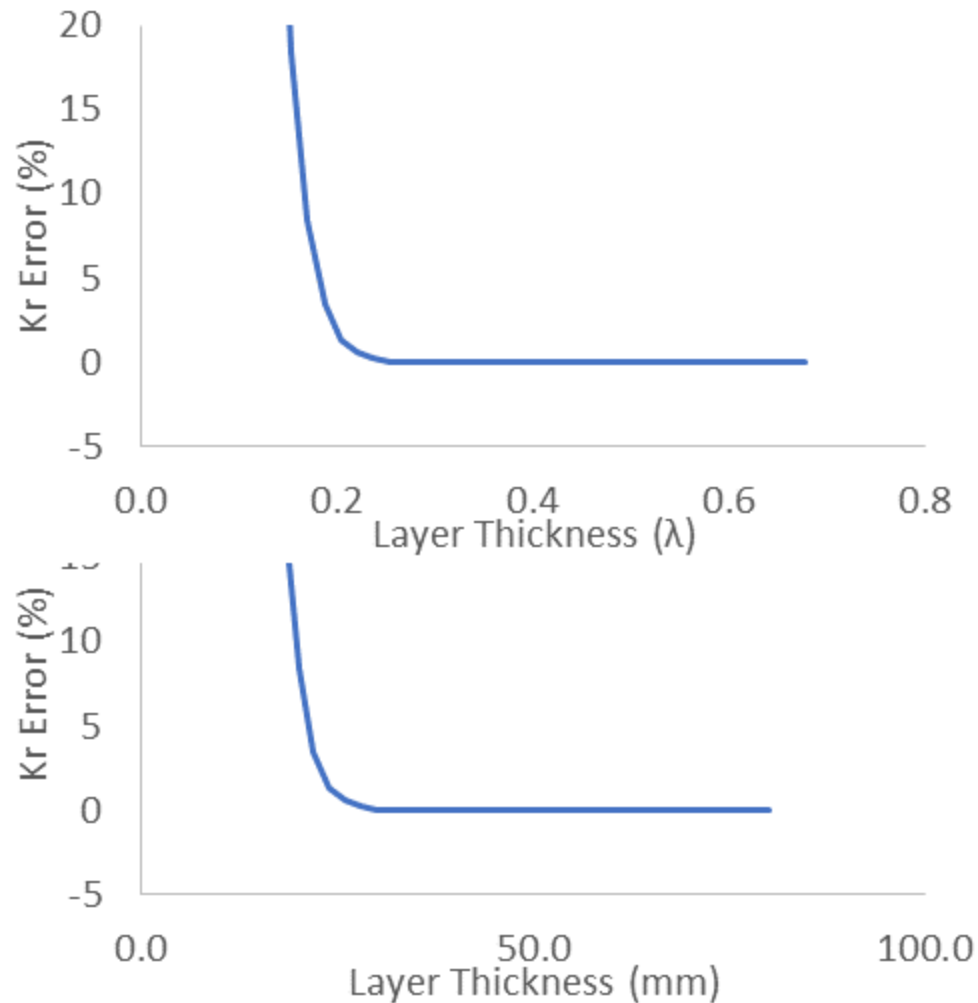
AS0: 13% Lime Sand & 0% RAP



AS3: 33% Lime Sand & 10% RAP



# Exploration Depth



- Evaluate by placing metal target at varying depth
- Made physical measurements
- Carried full numerical simulation
- Example of behaviour shown
- Depth sensed depends on permittivity

# We've Come a Long Way!!

- Foldable Arms
- Lower Concentrator Box
- Cable Management



# PaveScan RDM 2.0 – What is it?

It is a complete GPR system that will:

**Provide on-site dielectric values of newly laid and compacted asphalt**

**Continuous Full Coverage (CFC)**

**Provide compaction information on-site using a contour map**

**Provide coring locations**

**Allow input of core information for calibration and back calculation of % compaction, % void content, and density**



# PaveScan RDM 2.0, What's New

## New Sensor Design

- Built specifically for the asphalt paving environment
- Green laser to aid location accuracy
- IP65 rated, environmentally sealed



# PDP Overview

- Factory calibrated
- Long term stability
- Simple and easy to use
- Up and running in <5 minutes
- Operates in point and profile mode
- Displays K, density, air-void, compaction



**PDP**  
**PAVEMENT**  
**DENSITY PROFILER**  
Fast & Simple Pavement  
Uniformity Assessment

# ESS Pavement Scanner

Dielectric Profiling Systems

User Group Peer Exchange

Chuck Oden, PhD, PE (ESS)

January 15, 2020



# 2019 activities

- Implemented prototype SW
  - Data calibration
  - Reflectivity analysis
  - Estimate of dielectric constant
- Tests on reference data sets
  - Calibration data
  - Survey data
  - Data processing



3D-Radar – Vendor Update

**Personligen övertygad om  
att GPR-tekniken är  
tillräcklig färdig för att våga  
använda den i kontrakt.**



**Genom att använda GPR-  
mätningar för värdering av  
utförd kvalitet på nya  
asfaltbeläggningar kommer  
kvaliteten att öka**

**Våga tänka nytt !!!!!**  
**Ta till sig ny teknik och kunskap våga testa nyheter.**  
**Var öppen och sprid kunskap och erfarenheter.**

**Tack för mig  
efter 50 + år  
inom asfaltbranschen**