



Aalto University
School of Engineering

Tiiveyden mittauksen ja arvioinnin kehittäminen

Yhteenvedo 2013-15 tutkimuksista ja jatkosuunnitelmat

*Terhi Pellinen, Pekka Eskelinen, Eeva Huuskonen-Snicker,
Ari Hartikainen, Jussi Eskelinen*

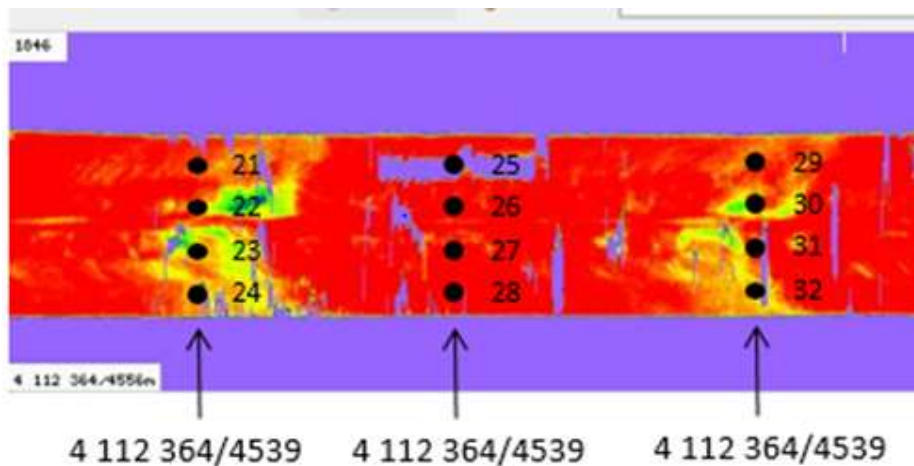
18.11.2015

Tulosseminaari, Liikennevirasto

Miten asfaltin tiiveyttä pitäisi mitata tutkalla?

- **Menetelmän on kyettävä erottamaan tyhjätilan vaihtelu muista muuttujista**
- **Tutkan resoluution oltava ”sopiva” horisontaali- ja vertikaalisuunnissa**
 - Korkeilla taajuuksilla myös kiviaineksen raekoko vaikuttaa mittauksiin
- **Bitumin ja kiviaineksen tilavuussuhteiden vaihtelu lisää hajontaa (lajittuminen)**
- **Kiviaineksen dielektrisyyssominaisuuksien vaihtelu lisää hajontaa**

Tyhjätilan vaihtelu päällysteessä (lajittunut päällyste)



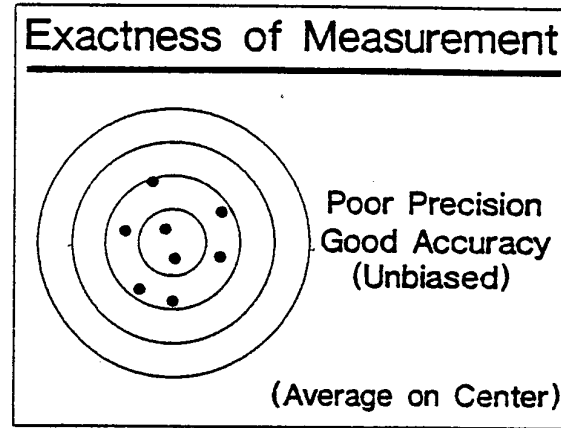
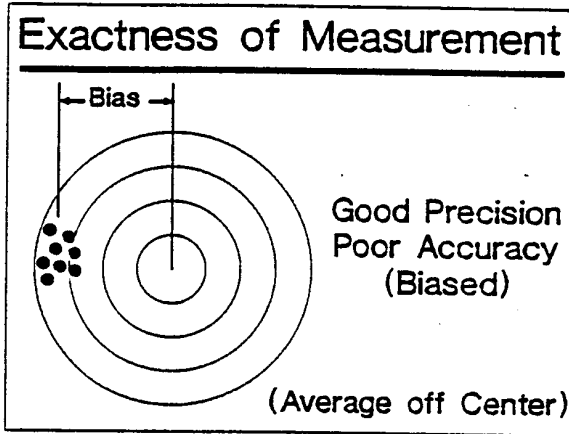
Core No	Pb%	Va%	VMA%	VFA%
21	5,5	3,3	15,15	78,46
22	5,4	3,6	15,03	76,13
23	5,5	0,6	12,87	95,48
24	4,7	2,7	13,65	80,04
25	5,5	1,0	13,47	92,74
26	5,3	0,0	12,44	100,00
27	6,4	2,7	14,61	81,36
28	5,2	2,0	13,30	85,21
29	6,0	5,7	15,60	63,23
30	5,1	6,8	14,78	53,83
31	5,4	3,1	14,34	78,28
32	5,1	2,4	12,87	81,54
Max	6,4	6,8	15,60	100,00
Min	4,7	0,0	12,44	53,83
Range	1,7	6,8	3,16	46,17

Nevalainen, N. 2014. *The use of thermal camera for quality assurance of asphalt pavement construction*, Master's thesis, Aalto University.

Mittauksen virhelähteet

(sisäinen ja ulkoinen tarkkuus sekä poikkeama referenssiarvosta)

Internally accurate, externally biased

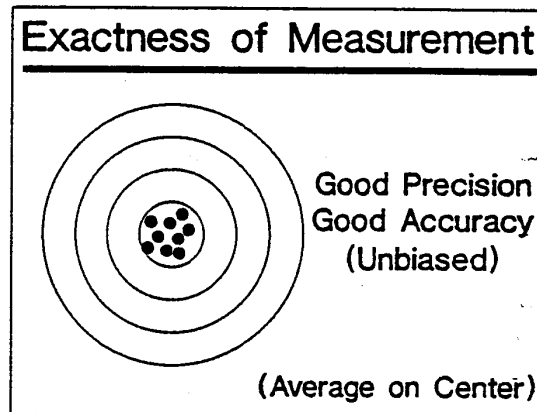


Random error in

- testing and/or
- sampling and/or
- production

Systematic error in

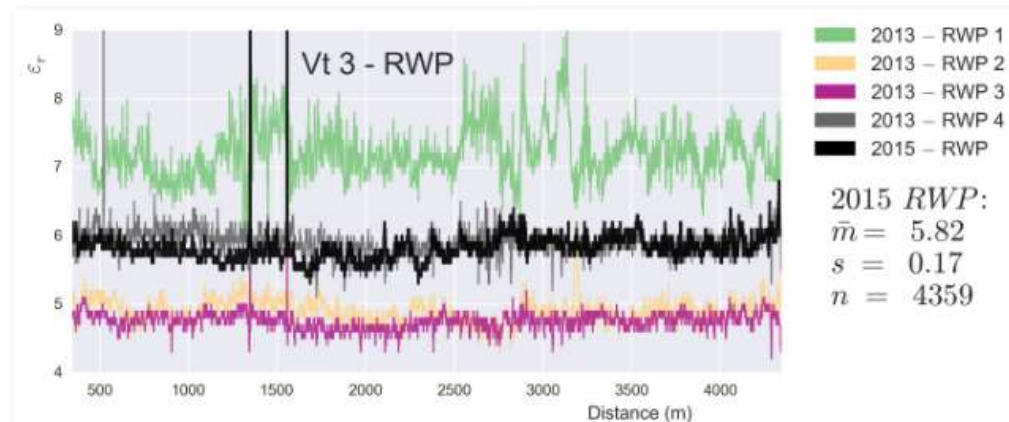
- testing and/or
- sampling and/or
- production



Externally accurate,
internally inaccurate

Tutkamittauksen virhelähteet ε_r arvossa

- tutkan laitetekninen kalibrointi ja kalibroinnin pysyvyys
- häiriöt signaalissa (tukiasemat yms.)
- heijasteet alapuolisesta rakenteesta (taajuus)
- vesi huokostilassa (mittausajankohta)
- signaalin maksimiampplitudin heijasteen valinta ja signaalin suodatus (mittauksen tulkinta)



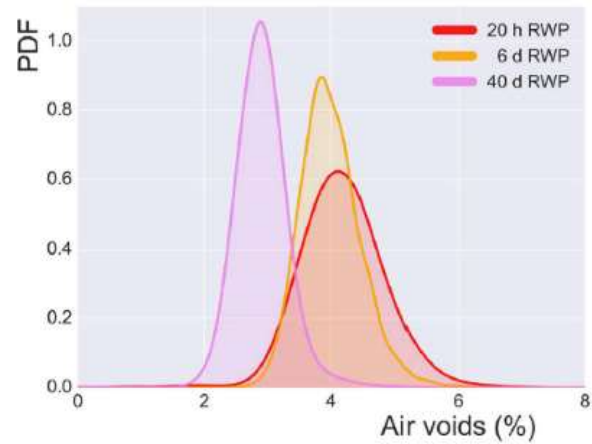
Virhelähteet ε_r ' arvon kalibroinnissa tyhjätilaksi

- **Päällysteessä on vettä ja saatu ε_r ' arvo on suurempi kuin fysikaalisesti kuivalle päällysteelle on mahdollista (massan maksimitiheys)**
 - Kun päällysteessä on vettä, PANK-kalibrointiyhtälö häivyttää suuret tyhjätilat ja tyhjätilan hajonta vääristyy, samoin keskimääräinen tyhjätila jää todellista alhaisemmaksi
- **Käytetty kappaletiheyden mittausmenetelmä laboratoriossa vääristää todellista tyhjätilaa jos näyte on ohut ja siinä on rekiä. Tämä ongelma on havaittu esim. hyvin ohuiden Remix-pintausten kohdalla.**
- **Tutka mittaa tyhjätilaa absoluuttisesti, kun taas laboratoriomenetelmät ovat suhteellisia (massakohtaisia) ja käsittelevät mm. näytteen pintahuokosia eri tavalla.**

Department of Civil and Environmental Engineering

Assessment of air void content of asphalt using dielectric constant measurements by GPR and with VNA

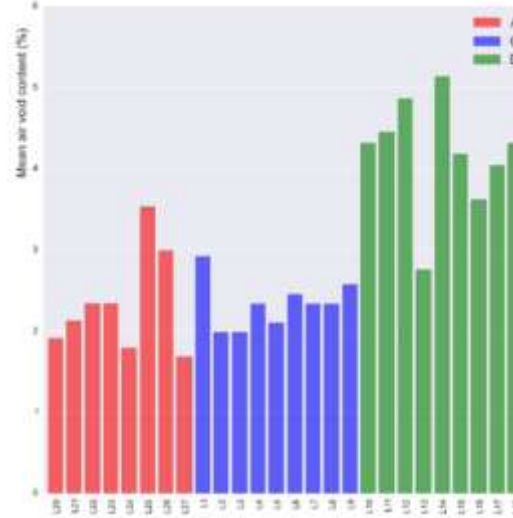
Terhi Pellinen, Pekka Eskelinen
Eeva Huuskonen-Snicker, Ari Hartikainen



Aalto University

SCIENCE + TECHNOLOGY

RESEARCH REPORT



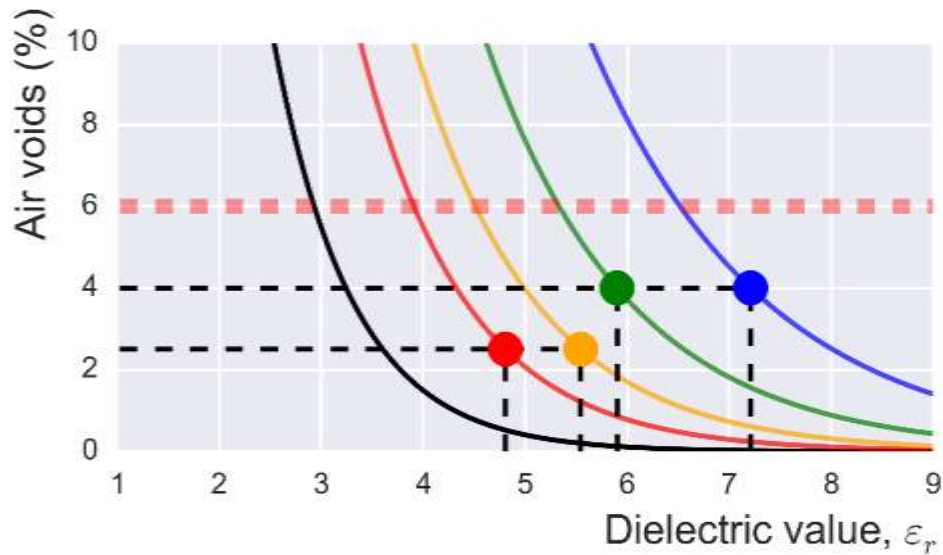
Air voids SSD (%)

Location A			E_r	
3,2	2,7	1,5	A	5,0
2,1	2,1	1,6	C	5,1
	1,7	1,9	D	5,4
Avg	2,1			
Std.	0,6			

Location C			Location D		
1,9	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8
1,9	1,7	2	1,7	3,4	2,7
2,4	1,6	1,6	2,8	2,9	3,2
Avg	1,9		Avg	2,7	
Std.	0,3		Std.	0,5	

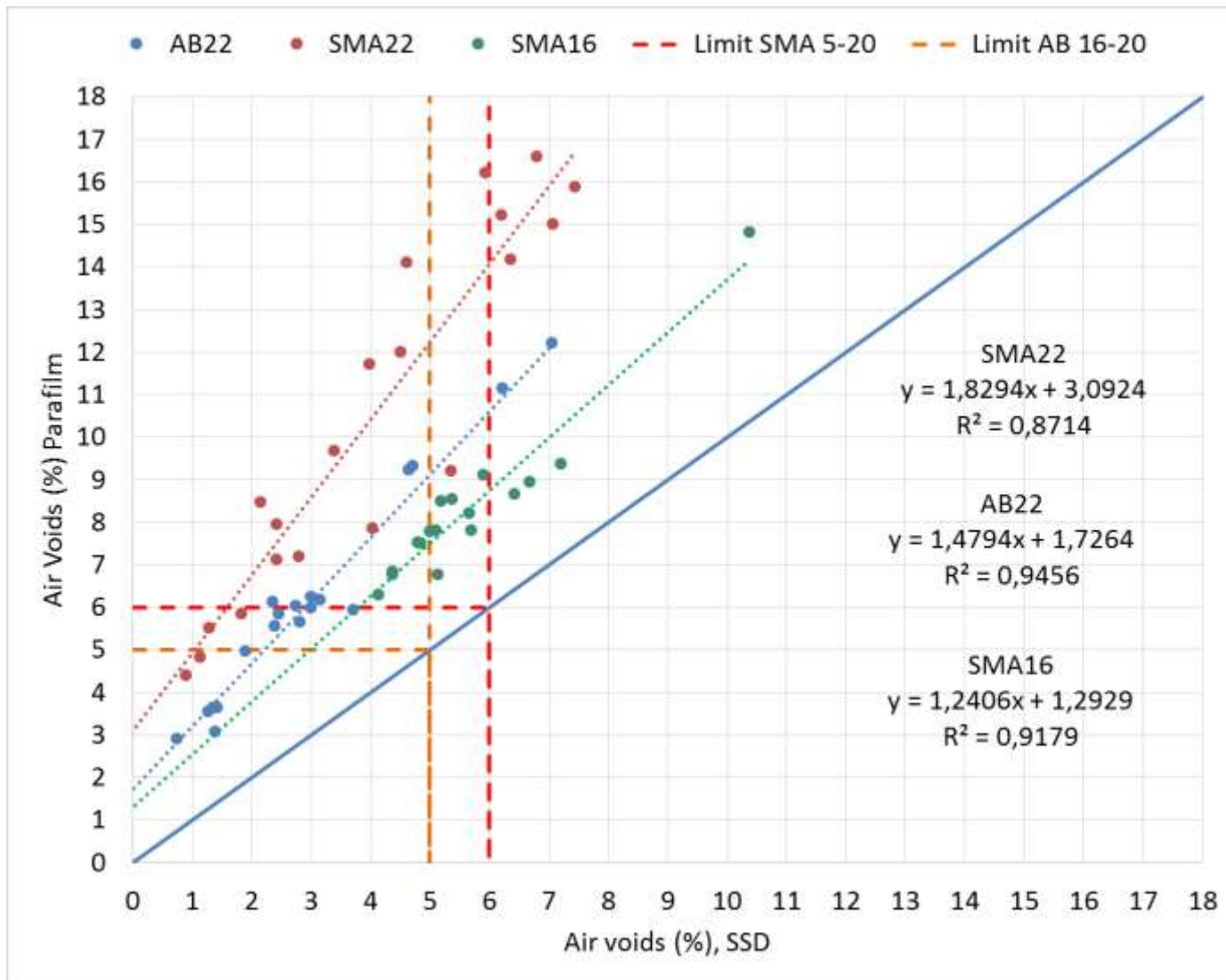


Vt3 ja Vt 12 tuloksia

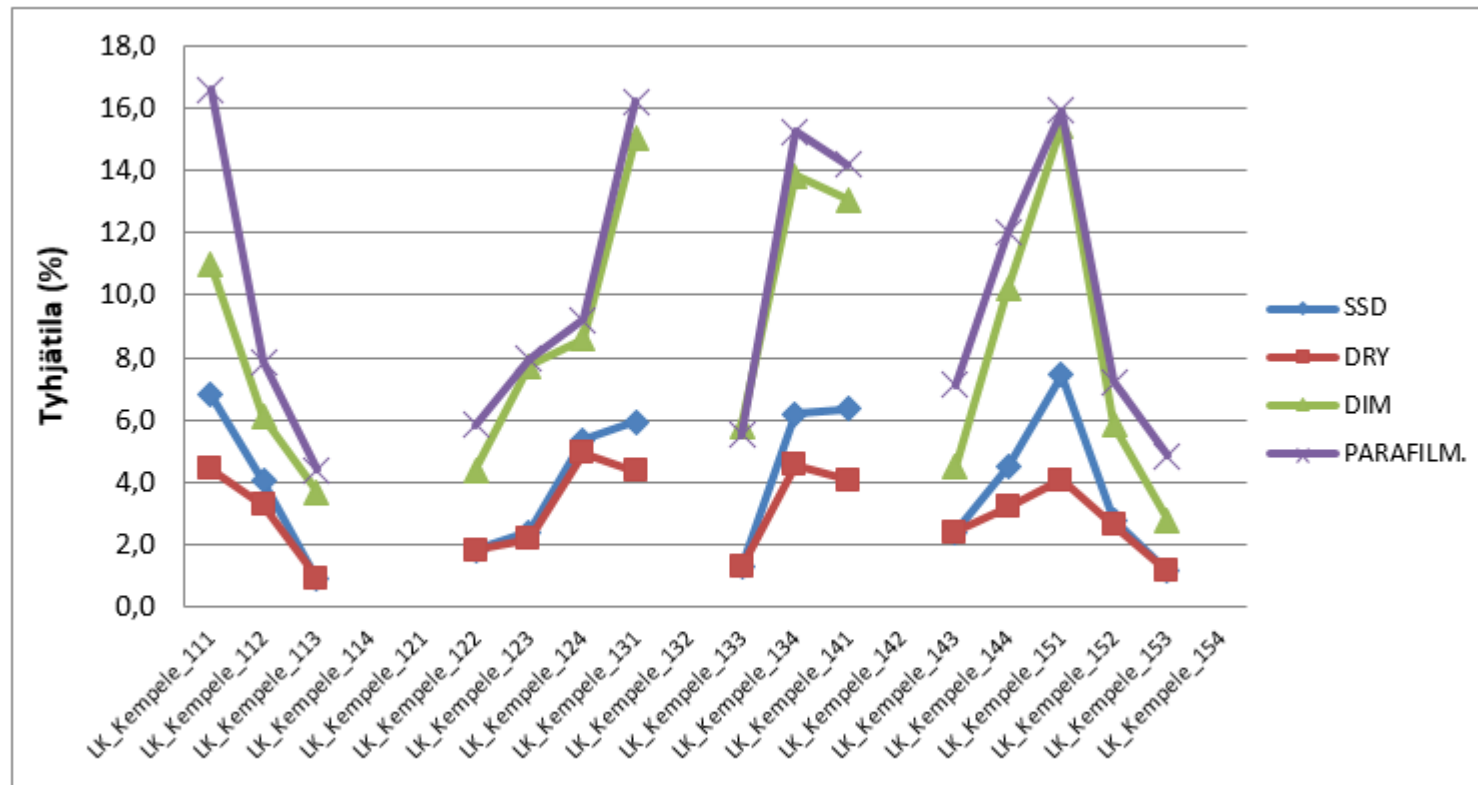


- $k=1.00$
- $k=0.75$
- $k=0.65$
- $k=0.55$
- $k=0.45$
- ■ *Limit for SMA*





N. Nevalainen: Lämpökameran käyttö päällystystöissä, jatkotutkimus. Aalto-yliopisto, Erikoistyö 2015.



Kuva 24 Eri menetelmillä lasketut tyhjättilan arvot, Kempele kaista 1.



Kuva 20 Lähikuva näytteen 4.1 huokoisuudesta.

Nevalainen, 2015

Mahdollisia muutoksia tutkamittaukseen 1-2 GHz maatutkilla

Tavoite: dielektrisyyden ϵ_r hajonnalle eli päällysteen homogeenisuudelle raja-arvot (arvonvähennykset)

PANK-4122 menetelmään muutoksia ja tarkennuksia

- **Uusi tiekohtainen kalibrointimalli tyhjätilalle (power model) porapalojen avulla**
- **Uudet ohjeet**
 - mittauksen ajankohta
 - porapalojen ottaminen
 - porapalojen tutkiminen
 - raportointi
 - tutkan kalibrointi

PANK-4122 menetelmä: uudet ohjeet 1/2

- **Mittauksen ajankohdan rajoitukset**
 - tavoite enintään 2 viikkoa työn tekemisestä (veden vaikutuksen eliminointi)
 - rakennekosteuden poistumiseen pitää varata n. 2 päivää
- **Porapalojen otolle uudet ohjeet**
 - otetaan tiiviistä (kuormaväli) ja harvasta (kuormakatko) kohdasta
- **Porapalojen tutkimiselle uudet ohjeet**
 - SMA massan kappaletiheys parafilmi menetelmällä
 - mitataan tiheyksien lisäksi sideainepitoisuus ja rakeisuus sekä kiven tiheys
 - lasketaan V_a , VMA, VFB ja verrataan massan suunnitteluarvoihin
- **Tutkan laitetekninen kalibrointi**
 - tutkan kalibrointi ennen ja jälkeen kunkin mittausosuuden sekä
 - kalibroinnille referenssipiste POM laatalla ennen jälkimmäistä kalibrointia, tulos raportoidaan

PANK-4122 menetelmä: uudet ohjeet 2/2

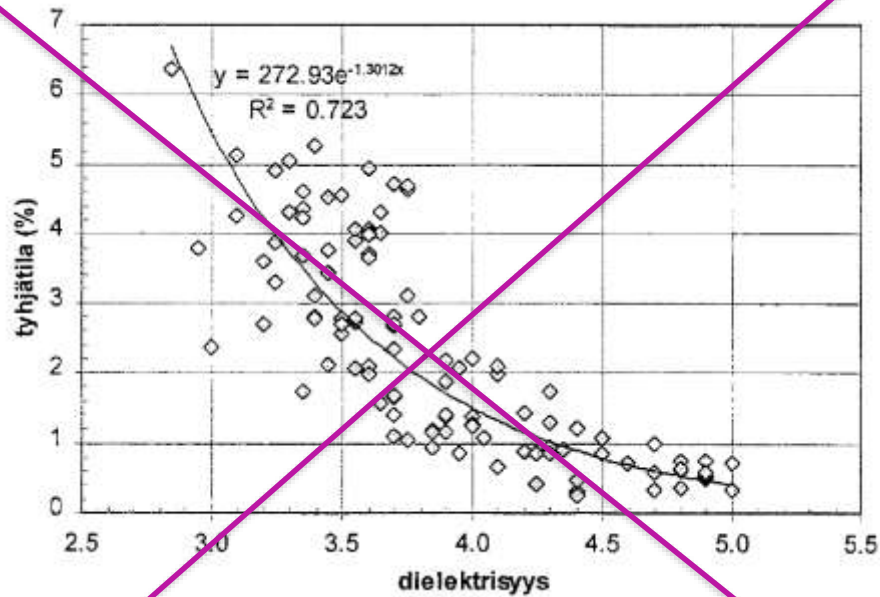
- **Raportointi**

- päällystysajankohta ja mittausajankohta
- mitatun signaalin tulosten jälkikäsittelyssä käytetyt parametrit ja asetusarvot (mm. RoadDoctor) ilmoitetaan yksityiskohtaisesti
- dielektrisyyden ka ja kh, min, maks
- porapalojen yksityiskohtaiset laboratoriotutkimustulokset
- massan suunnitteluohjeet ja porapalojen vertailu suunnitelmiin
- porapaloihin sovitettu kalibrointimalli ja sen parametrit

Massan suunnittelu, raportointi

Ominaisuus	Menetelmä	Tulos (tarkkuus)	Asfalttinormien ohjearvo
Kiertotiivistys, tiivistysten lukumäärä	SFS-EN 12697-3	100	-
Sideainepitoisuus [massa-%]	SFS-EN 12697-8	5,62	-
Päällysteen tiheys [Mg/m^3]	SFS-EN 12697-6, A-D	2,512	-
Massan maksimitiheys [Mg/m^3]	SFS-EN 12697-5	2,758	-
Tyhjätila V [til.-%]	SFS-EN 12697-8	3,3	2-5
Kiviaineksen tyhjätila VMA [til.-%]	SFS-EN 12697-8	15,62	16-20
Täyttöaste VFB [til.-%]	SFS-EN 12697-8	85,18	75-93
Kiviaines #1 kiintotiheys ja veden abs.	SFS-EN 1097-6	2,705	
Kiviaines #2 kiintotiheys ja veden abs.	SFS-EN 1097-6	2,690	
Kiviaines #3 kiintotiheys ja veden abs.	SFS-EN 1097-6	2,553	
Täytejauhe, tyyppi, kiintotiheys ja veden abs.	SFS-EN 1097-6	2,500	
Lisäaineet	SFS-EN 1097-7		

PANK- 4122 menetelmä kalibrointimalli



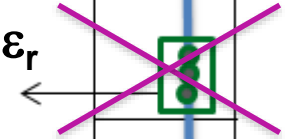
$$TT = 272,93e^{-1,3012*k*e_r}$$

Poranäyte

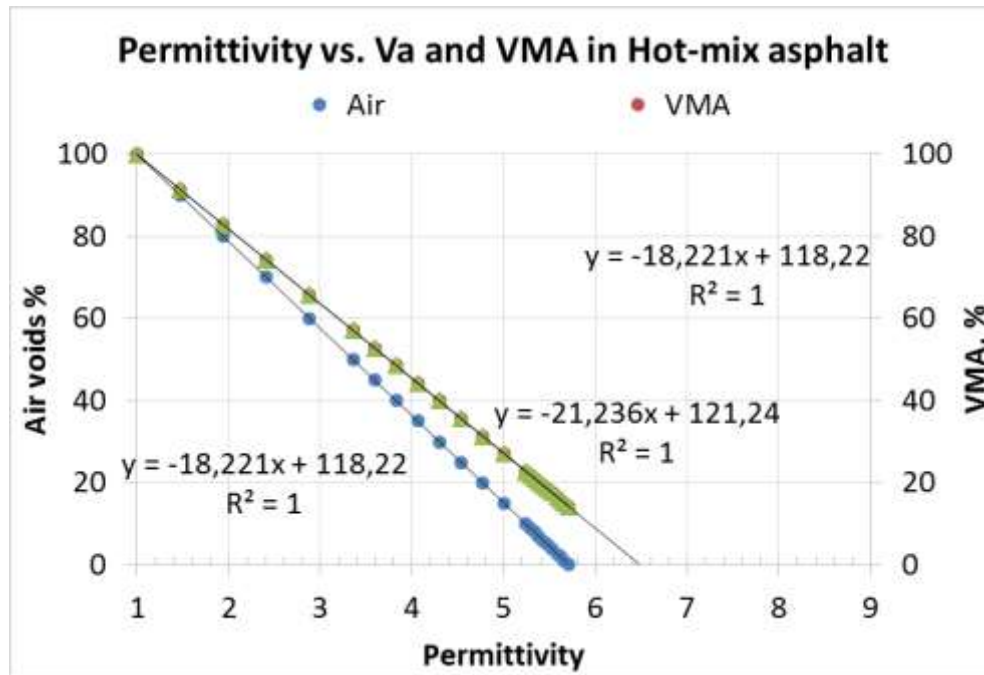


oikea ajoura

ka ϵ_r



Uusi tiekohtainen kalibrointimalli tyhjätilalle



$$\epsilon_{eff} = \left[\sum V_i (\epsilon_i)^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

where α is geometric factor.

Lichtenecker-Rother model

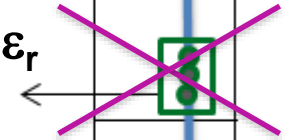
The geometric factor α relates the effective layering of components to the direction of the applied electrical field. The value normally is 0,5, leading to the “power model” or CRIM (Complex refractive index model) model.

Poranäyte



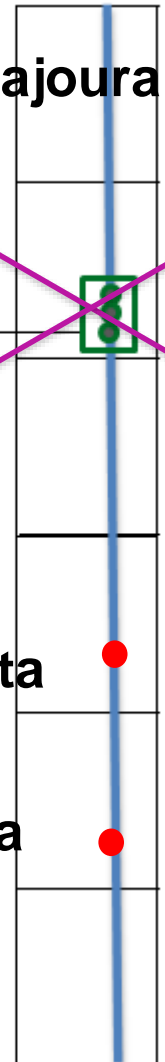
oikea ajoura

ka ϵ_r

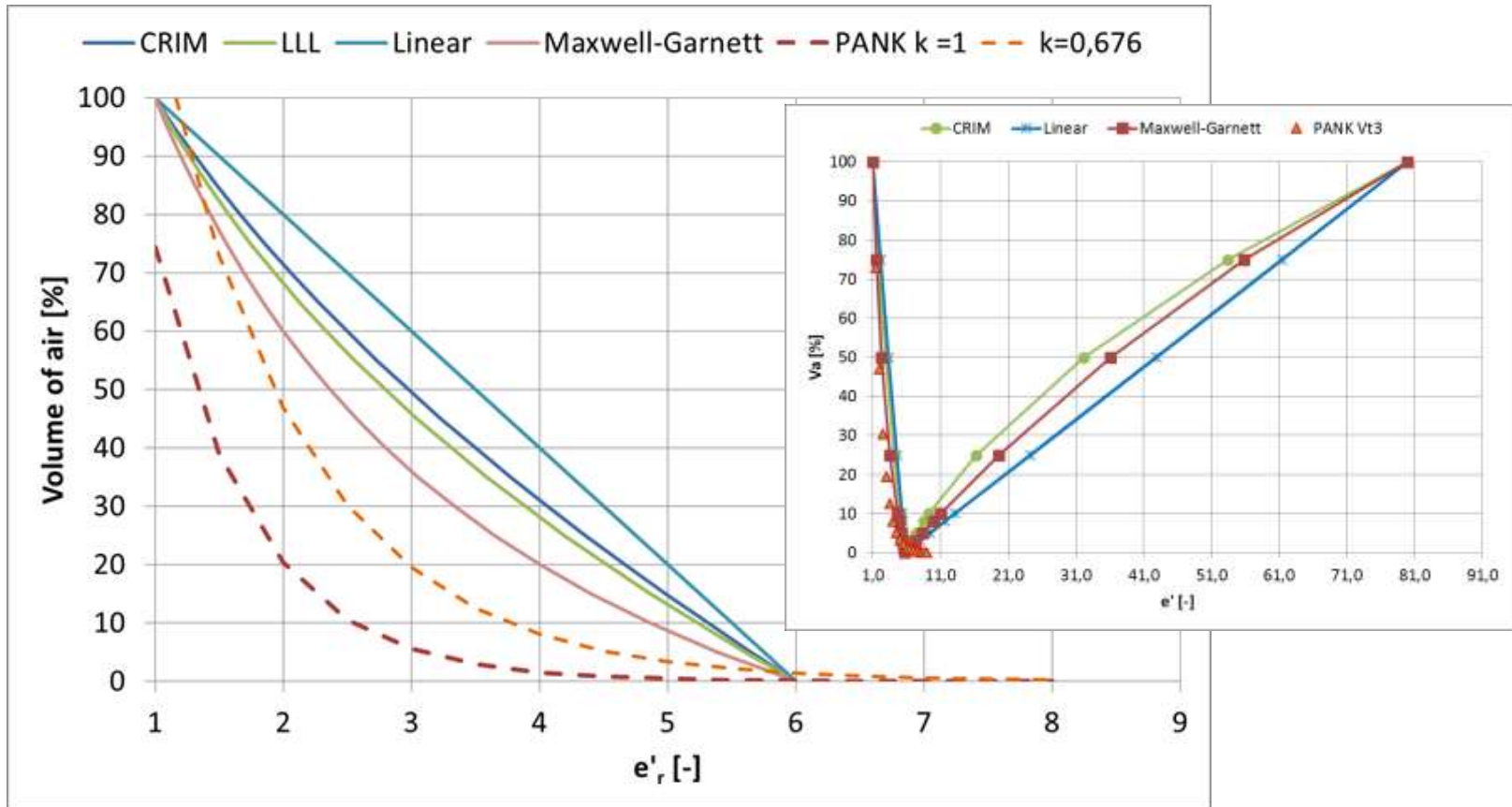


harva kohta

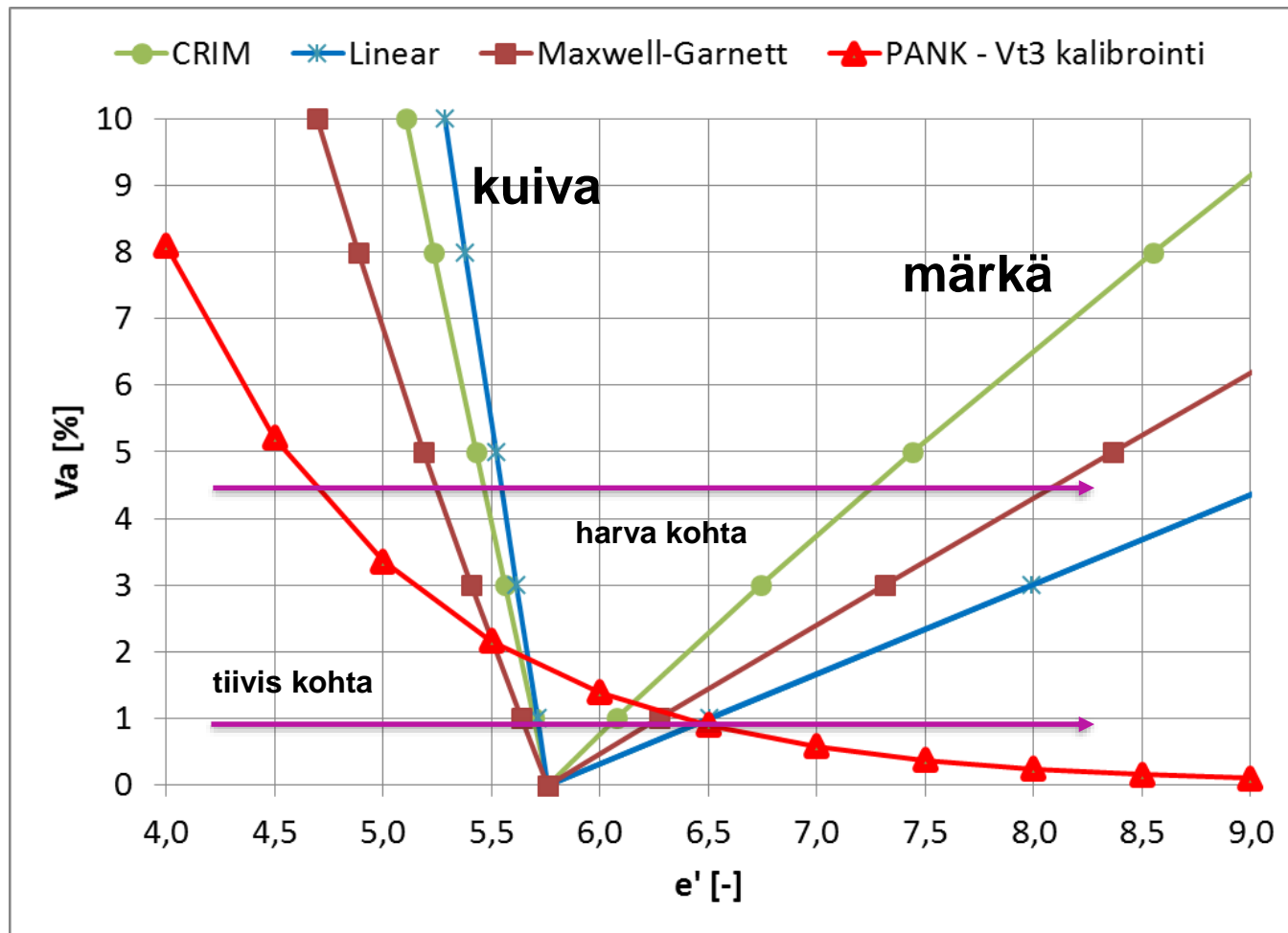
tiivis kohta



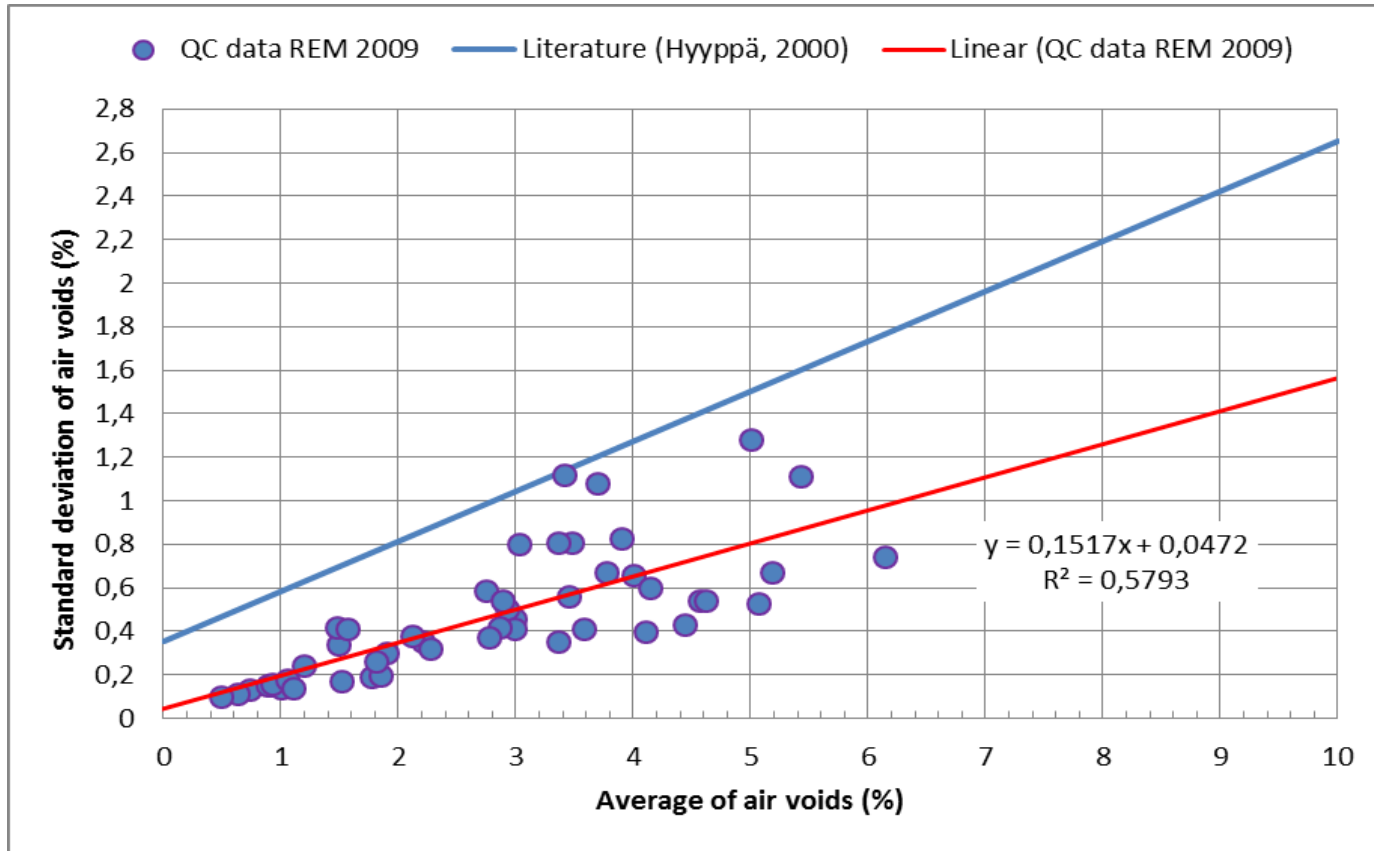
Teoreettiset mallit permittiivisyydelle



Teoreettisen hajonnan määrittäminen

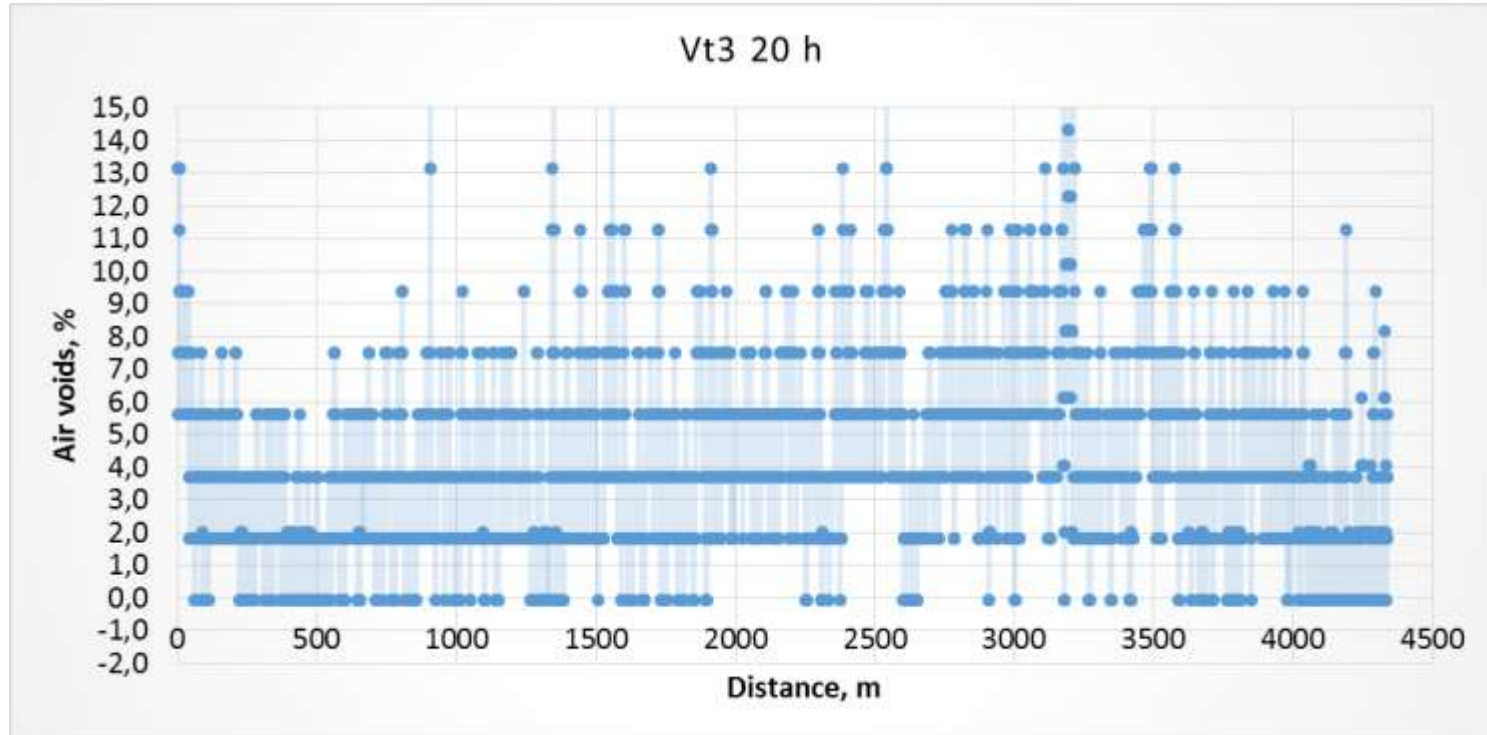


Porapalat vs. tutkamittaus - hajonnat



Esimerkki: Lineaarinen kalibrointimalli

	Above limit of 6% air voids
n. 25 %	Z
0,666	Stdev.
2,911	Avg.



Tavoite: dielektrisyyden hajonnalle eli päällysteen homogeenisuudelle raja-arvot

- Alle 5 % tyhjätilan aiheuttamaa hajontaa on kutakuinkin mahdotonta erottaa muusta kohinasta, mutta VNA tutkimukset osoittavat, että asfaltin epähomogeenisuus eli lajittuminen näkyy selkeästi tutkimuksissa.
- Dielektrisyyden mittaushajonnan muutokset ennakoivat tien vaurioitumista ja sen kehitystä (veden jäätyminen vaikutukset huokostilassa)
- **Visio: Vuosittaiset kuntomittaukset ja vaurioitumisen kehityksen monitorointi**



Tyhjättila AB1
Kuiva 1,3%
SSD 1,3%

Sieve, mm	AB1 p-%	AB2 p-%
11,2	76,3	84,9
8	60,8	66,6
4	42,4	46,0
2	33,1	35,1
0,5	20,7	20,8
0,063	8,9	7,8

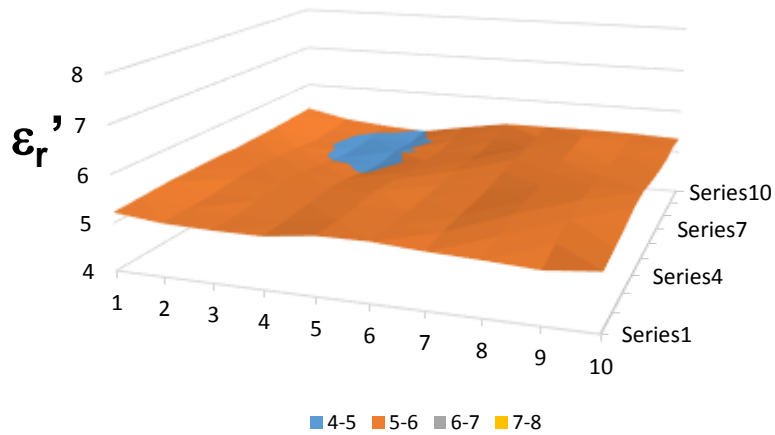
Tyhjättila AB2
Kuiva 7,0%
SSD 5,4%





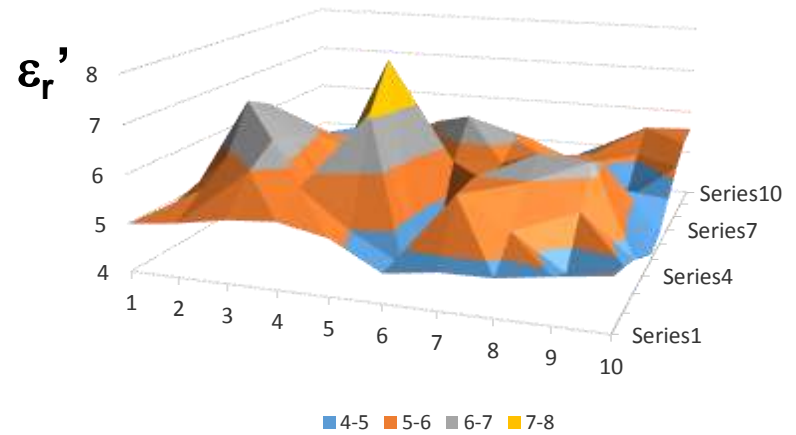
mean	5,21
sdev	0,133

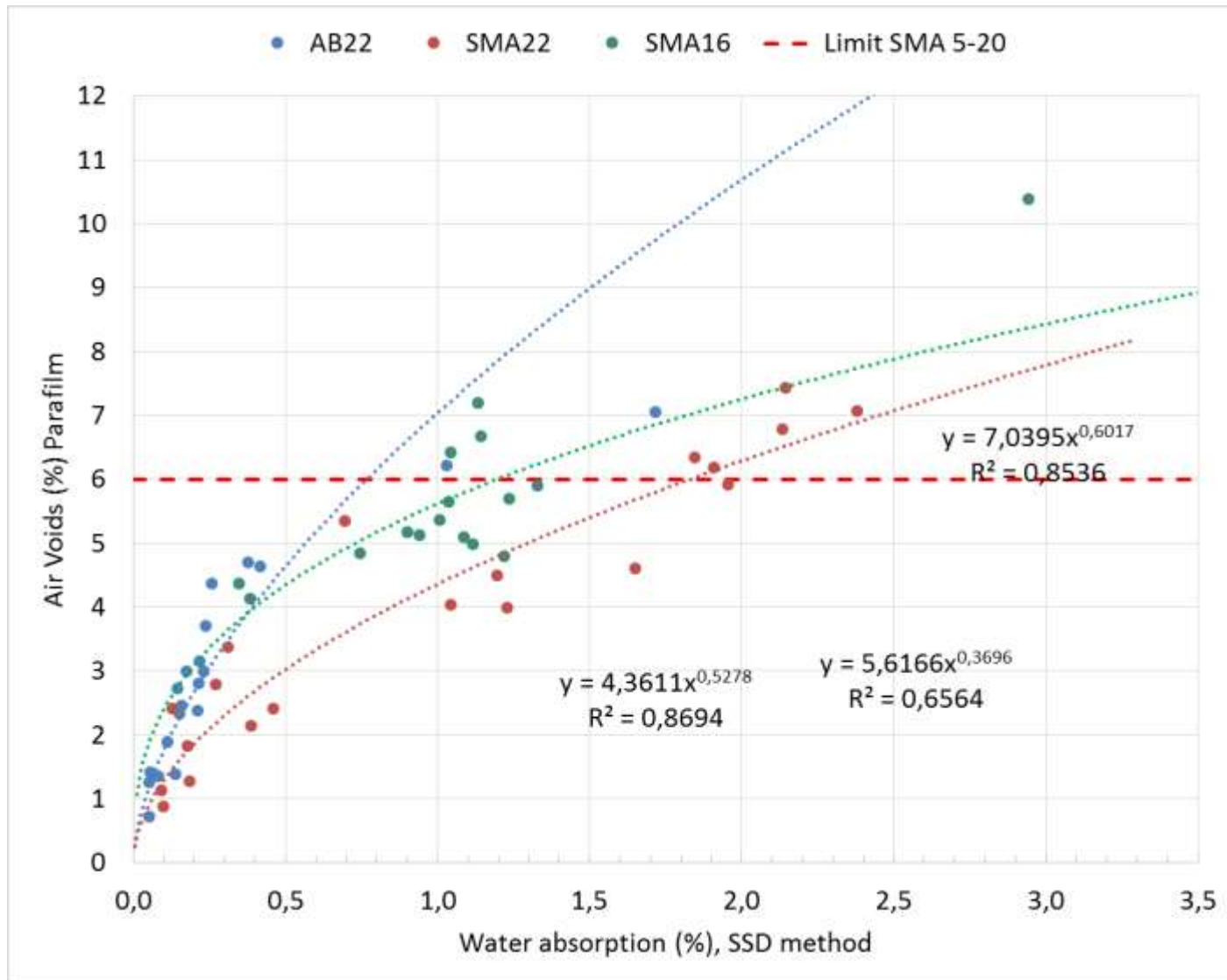
AB1



mean	5,23
sdev	0,720

AB2



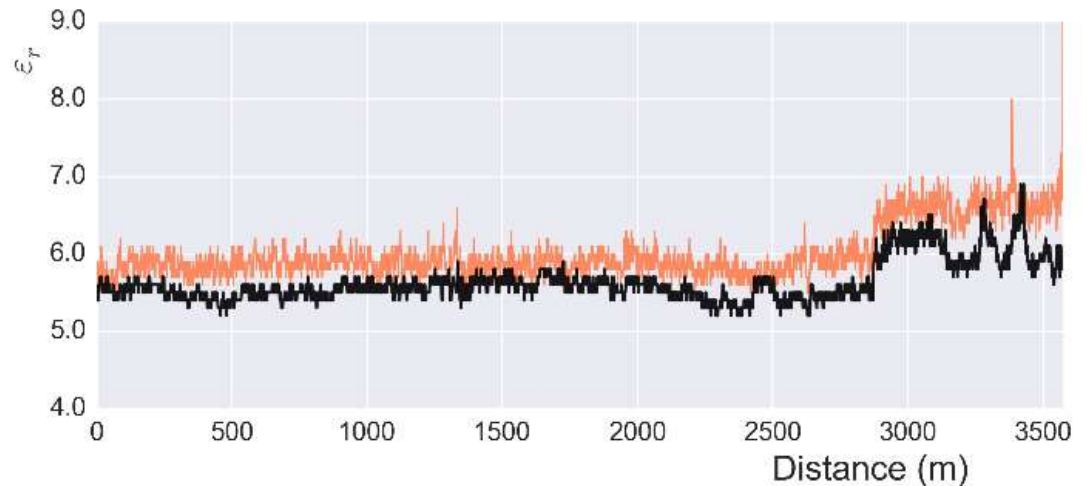
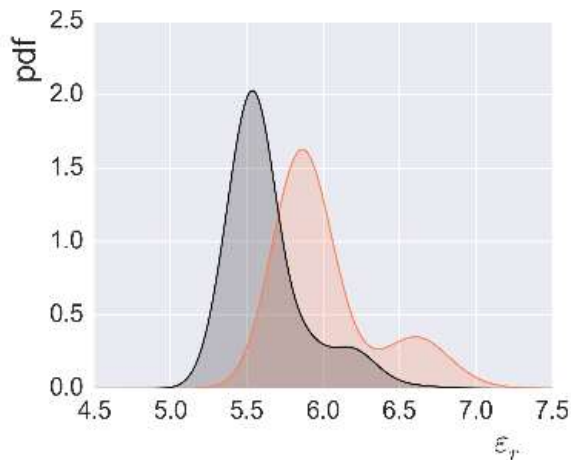


Mittaushajonta -- suuruusluokka

- Materiaalista johtumattomat hajonnat on kyettävä eliminoimaan datasta ennen keskiarvoistamista.
- Alustava teoreettinen arvio on että n. 0,11 keskihajonta ε_r arvossa (kuiva päällyste, 1 m keskiarvoistetusta datasta laskettuna) on riittävän pieni, jotta tyhjätilan vaihtelu on alle 5%.
- Näyttäisi, että hajonnat kuivassa ja märässä päällysteessä eivät ole yhteismitallisia koska veden dielektrisyys ε_r vaihtelee 42- 81 välillä ja ilman dielektrisyys on 1.

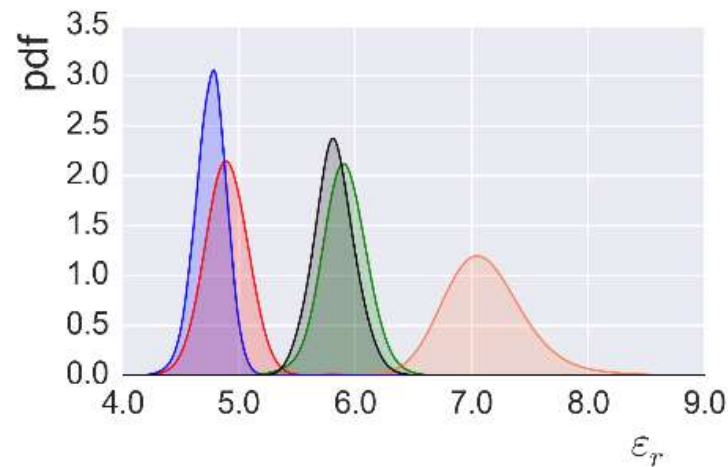
Mittausjakson spatiaalinen tarkastelu ja mahdollisten materiaalista riippumattomien virhelähteiden eliminointi

- Tie jaetaan samanlaisiin osiin ja jos keskimääräinen ε_r '-taso selkeästi nousee tai laskee esim. yli 50 metrin matkalle laskettuna kesken mittausjakson, keskiarvot ja hajonnat lasketaan ko. tieosuuksille erikseen

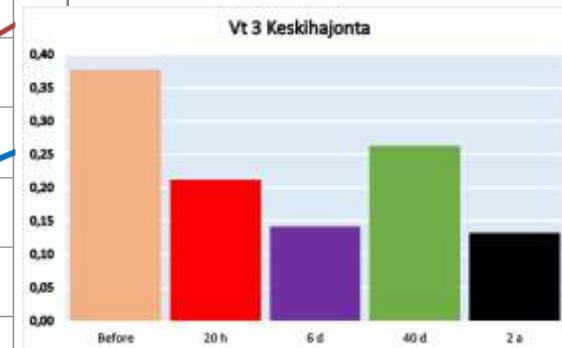
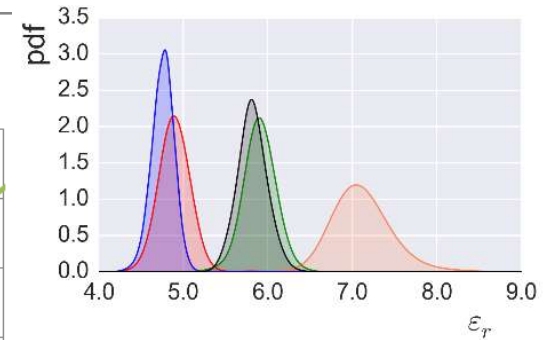
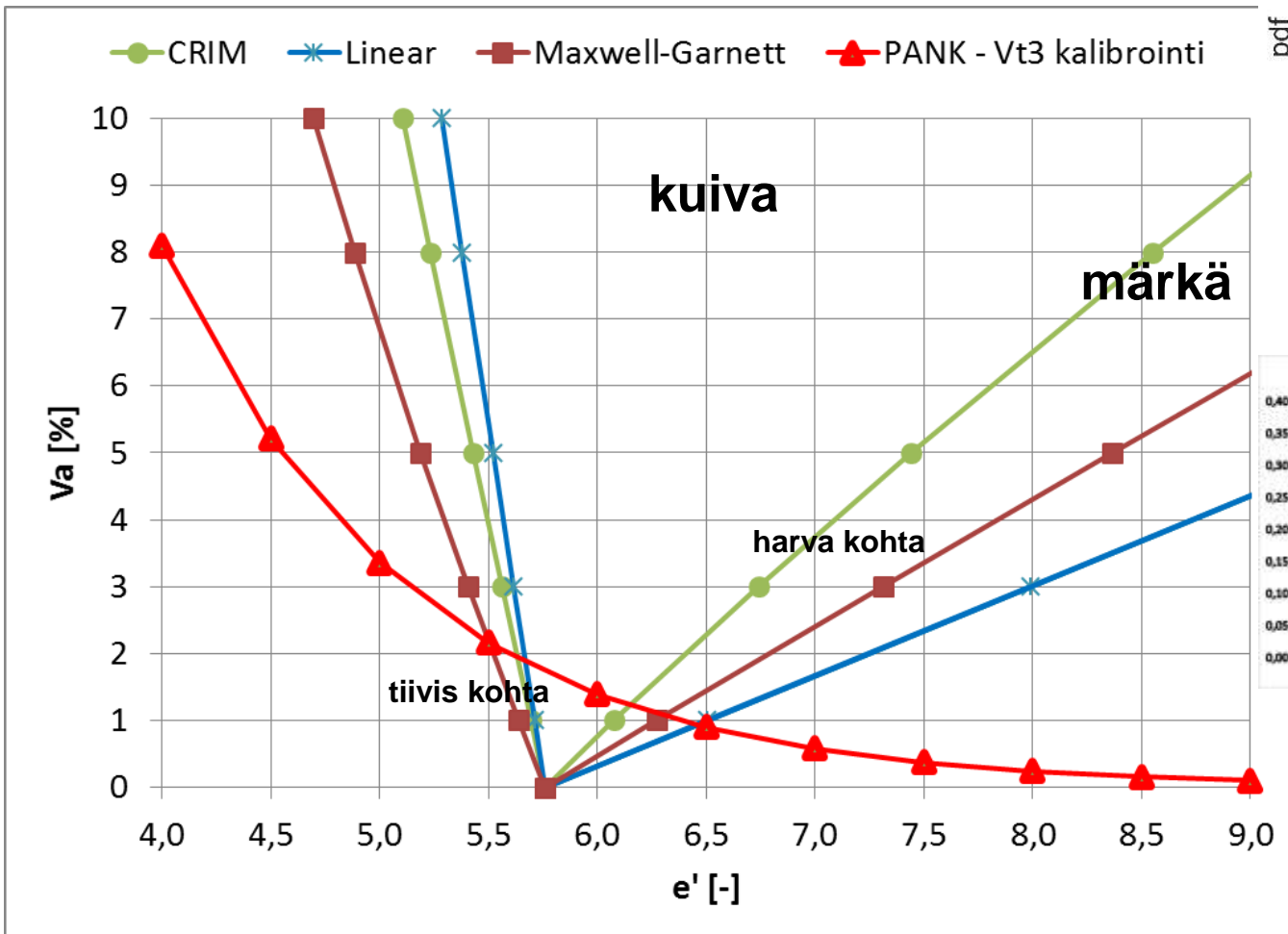


Hajonnat 1 m keskiarvoistetulle datalle

Time	Location	Mean	St.dev.	Min	Max	Count	CV%
Before constr.	rw_1	7.1	0.34	5.3	8.9	9182	4.7
B. constr. truncated	rw_1	7.2	0.37	5.3	8.9	4348	5.2
20 h	rw_2	4.9	0.18	4.3	6.2	4342	3.6
6 days	rw_3	4.8	0.13	4.2	6.3	4349	2.6
40 days	rw_4	5.9	0.17	5.1	6.6	4343	2.9



Teoreettisen hajonnan määrittäminen



Tiedonkeruu kesällä 2016

- Kesän 2016 aikana seurataan dielektrisyysarvon hajontoja ja raportoidaan hajontatiedot analysointia varten.
- Normaali laadunvalvonta-data (keskiarvoistettuna 1 m välein)
 - ϵ_r' ka, kh, min, maks, porapalat tyhjätilat
- Pilotointidataa AB ja SMA päällysteitä, uusi kalibrointimalli
 - *Mitattua ja tulkittua dataa*
 - 10 cm välein, ϵ_r' raportoidaan 2 desimaalilla
 - 1 m välein, ϵ_r' raportoidaan 2 desimaalilla
 - ϵ_r' ka, kh, min, maks
 - *Porapalat, tiheydet, sideainepitoisuus, kiven tiheys, tilavussuhteet*
 - *massan suunnittelutiedot*
 - *kalibrointimallin parametrit*