



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Elinkaaritehokas päällyste - Tyhjätila

Tulosseminaari 21.11.2017

Ari Hartikainen

Sisältö

Tutkimuskysymykset

Aikaisemmat tutkimukset

- Raportti 1
- Raportti 2

2016 – 2017

- Raportti 3

Johtopäätökset

Tulevaisuus

Tutkimuskysymykset

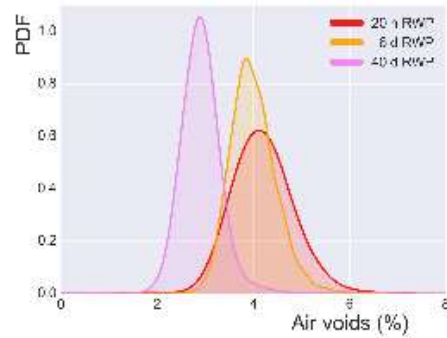
- Onko käytössä olevan maatutkatekniikan tarkkuus riittävä myös nykyisille ohuille päällystekerroksille?
- Onko nykyinen mittausmenetelmä edustava?
- Jatkuva mittaus oikeasta urasta
- Onko PANK-ohjeistus ajan tasalla?
- PANK-4122 Asfalttipäällysteen tyhjätila, päällystetutkamenetelmä

Raportti 1

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

Raportti 2

Department of Civil Engineering

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

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



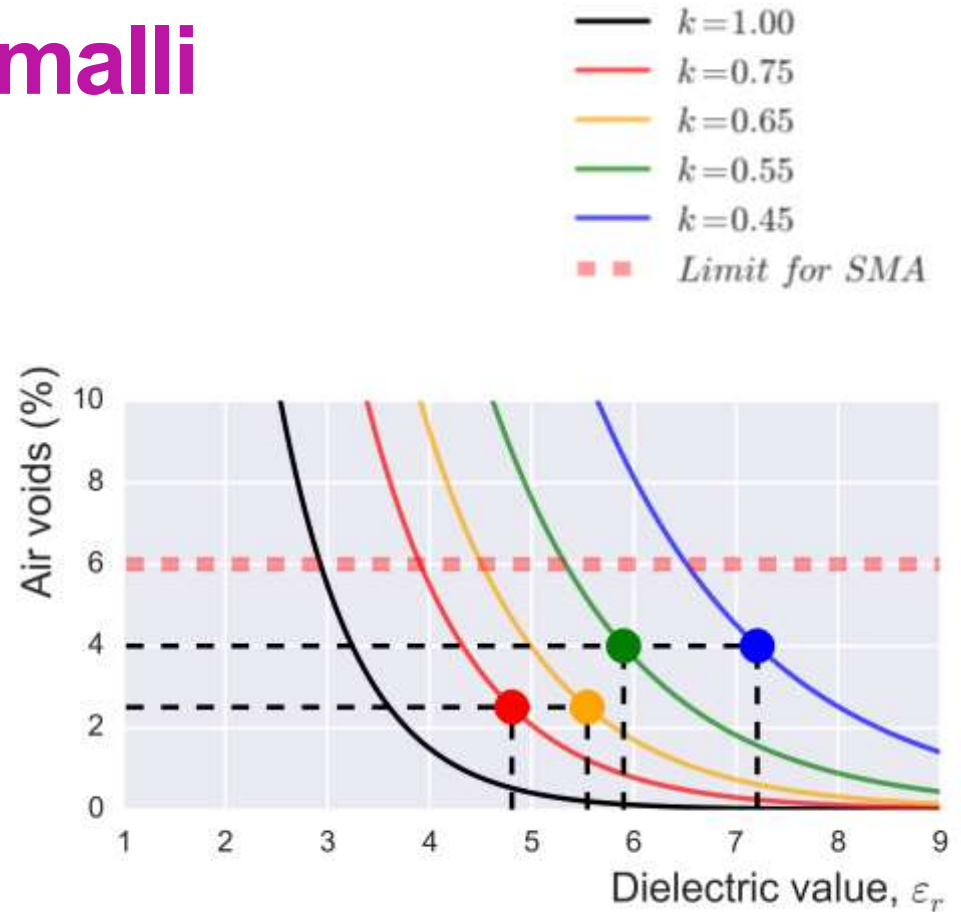
Aalto University

SCIENCE + TECHNOLOGY

REPORT

Raportti 1– PANK -malli

- Virheherkkä
- Kohina katoaa sopivalla kombinaatiolla
 - Korkea permittiivisyys
 - Alhainen mitattu tyhjätila



Raportti 1 & 2 - Valtatie 3

Permittiivisyyden kehitys

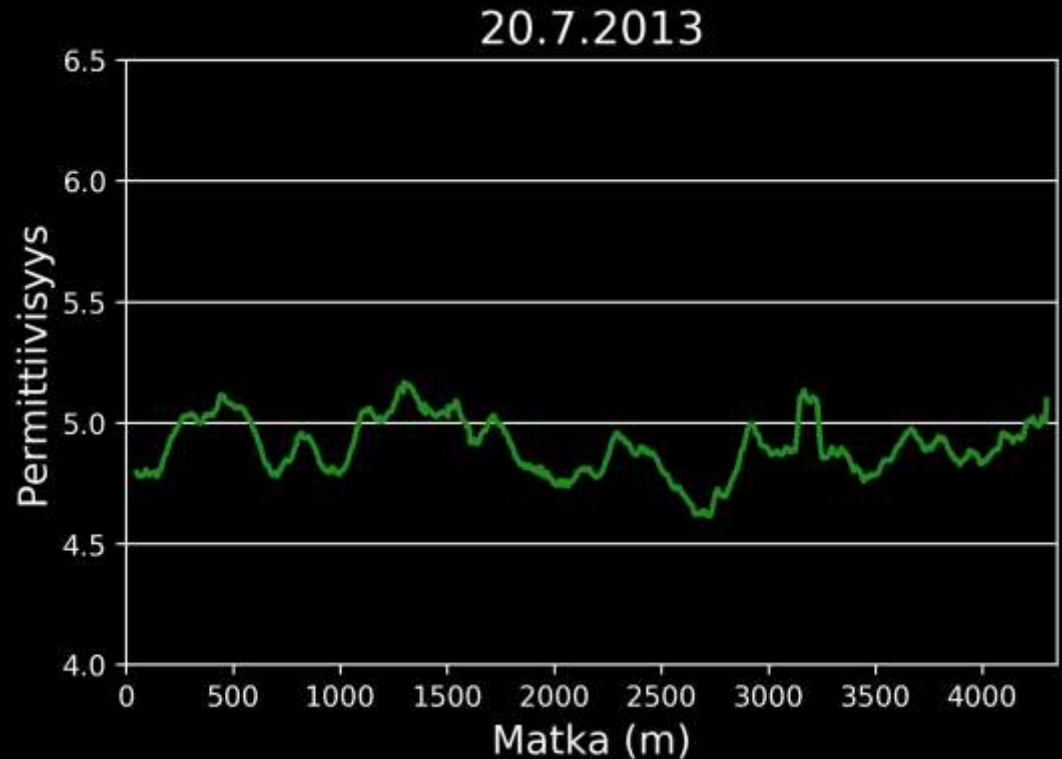
Raportti 1:

- **Kesällä 2013 Vt 3 tehtiin 3 mittausta päällystystyön jälkeen:**
 - 20 tuntia
 - 6 päivää
 - 2 kuukautta
- **Kesällä 2015 päällyste mitattiin uudelleen**
 - 2 vuotta

1. mittaus – 20 tuntia päällystyksen jälkeen

- Lähtötaso

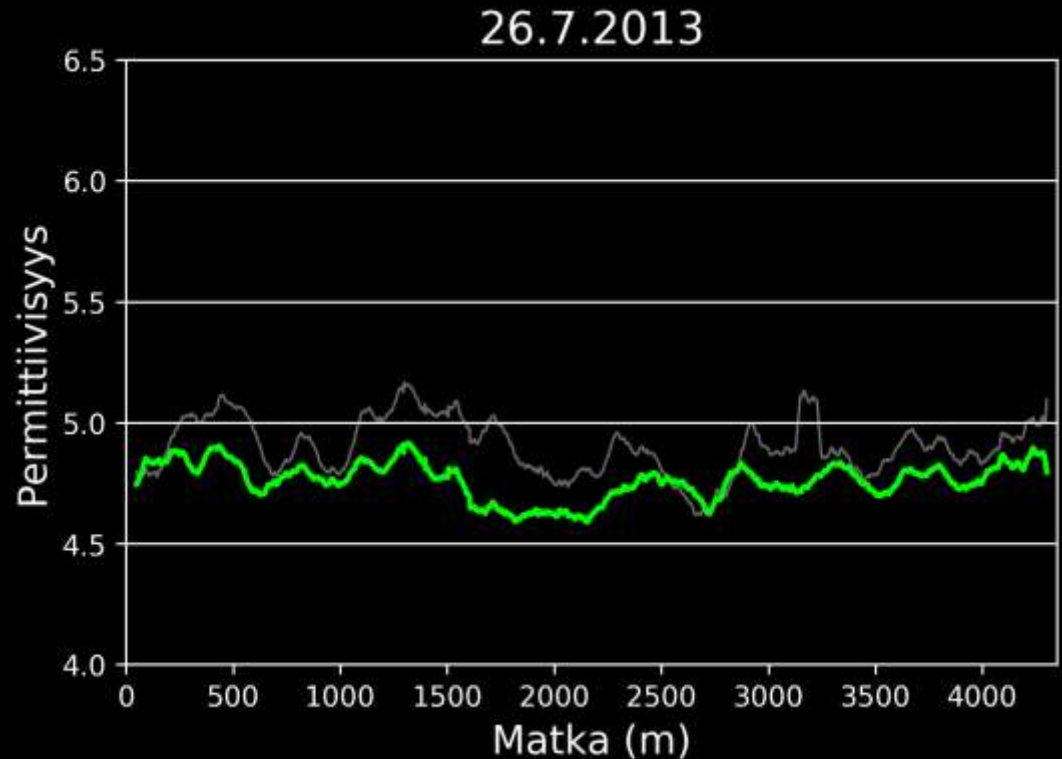
Kerta	KA / ERO
20 h	4,90 / -



2.mittaus – 6 päivää päällystyksen jälkeen

- Taso tippuu

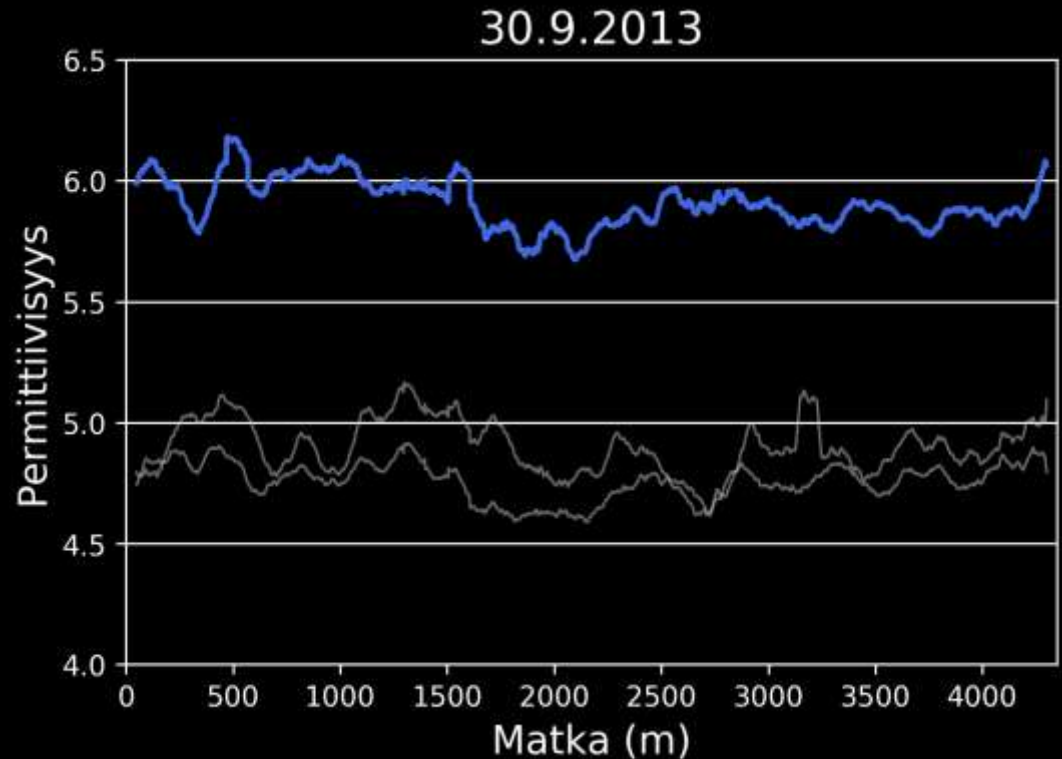
Kerta	KA / ERO
20 h	4,90 / -
6 d	4,76 / -0,14



3. mittaus – 2 kk päällystyksen jälkeen

- Taso nousee merkittävästi

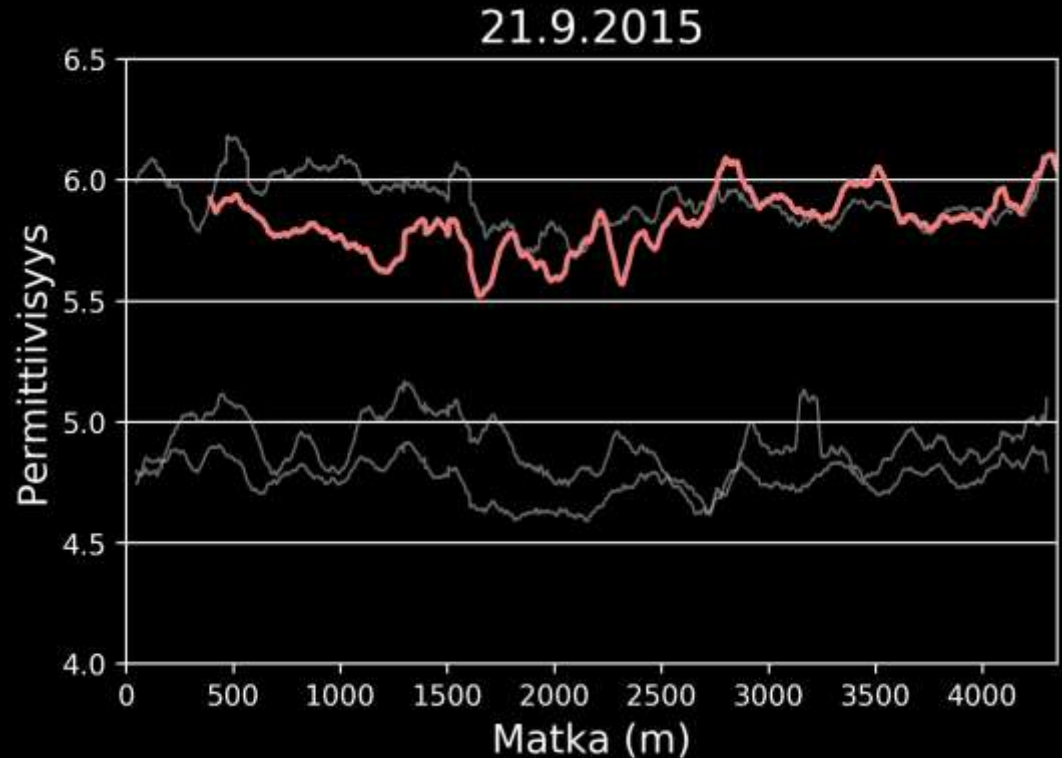
Kerta	KA / ERO
20 h	4,90 / -
6 d	4,76 / -0,14
2 kk	5,91 / 1,15



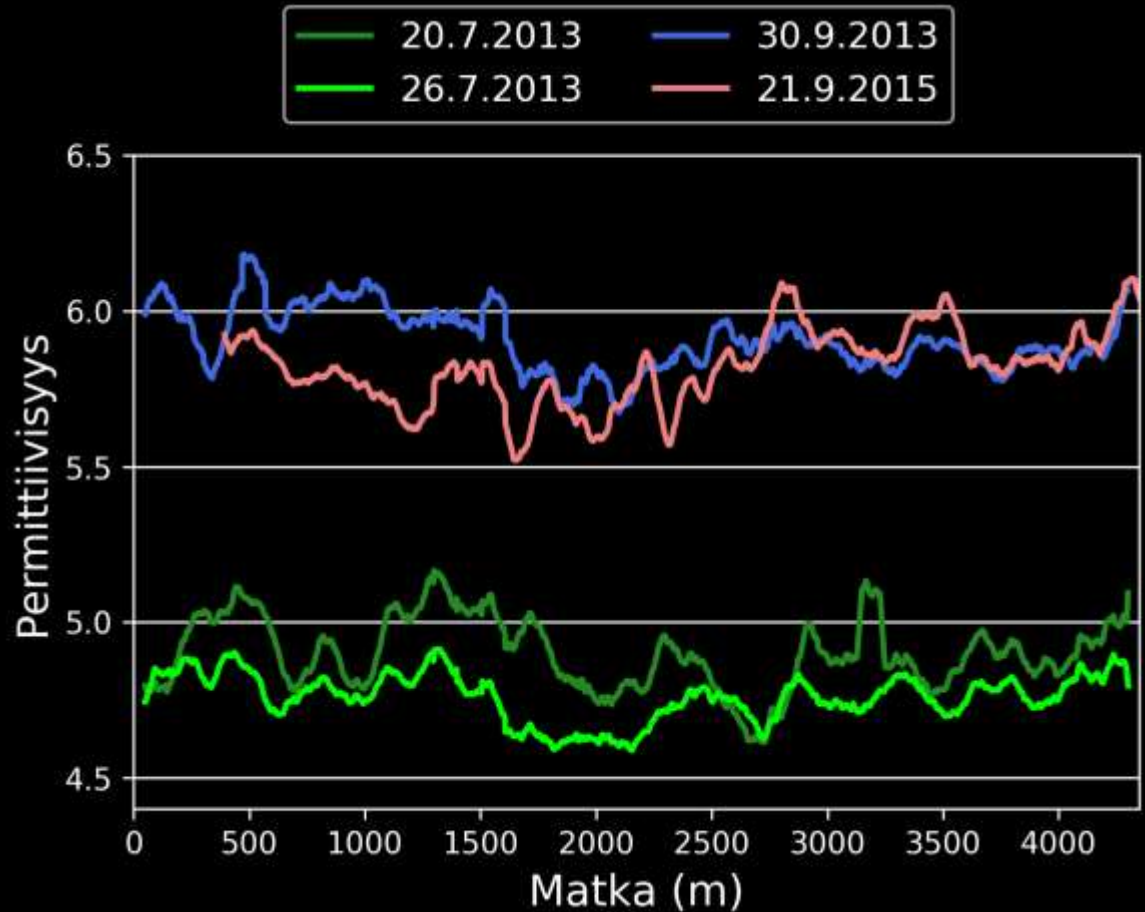
4. mittaus – 2 vuosi päällystyksen jälkeen

- Taso pysynyt

Kerta	KA / ERO
20 h	4,90 / -
6 d	4,76 / -0,14
2 kk	5,91 / 1,15
2 v	5,82 / -0,09



1. Työnaikainen alkukosteus määrää tason
2. Alkukosteus kuivuu – taso laskee
3. Rakenne kostuu – taso nousee
4. Pinnan vesipitoisuus vaihtelee



Kesä 2016

12 kohdetta (8 kantatie, 4 valtatie)

- SMA16: 6 kohdetta
- AB16: 6 kohdetta

Porapala näytteenotto: Harva, Keski, Tiivis

- Poranäytteet toimijalle sekä Aaltoon

Maatutkamittaukset kesän 2016 aikana

- Oikea ajoura
- 10 näytettä / metri

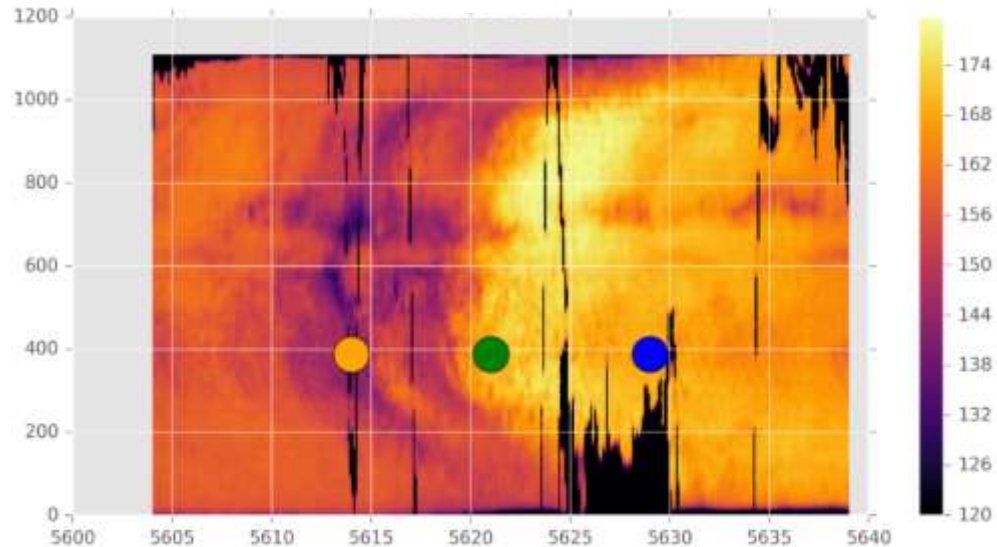
Näytteenotto

Lähtöoletuksella, että lämpötila ja keskimääräinen tyhjätila korreloivat positiivisesti

Harva (H) – Kelt.

Keski (K) – Vihr.

Tiivis (T) – Sin.



Porapalamittaukset

Porapalojen kokonaismäärä 86

- Aalto 50
- Toimija 36

Aallon laboratoriossa tiheys mitattiin 5 tavalla

- DRY
- SSD
- DIM
- Parafilm
- CoreLok

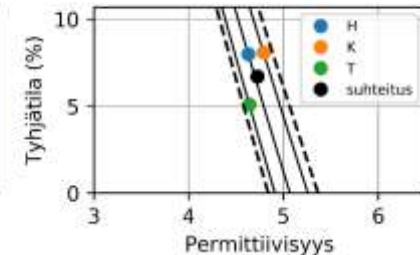
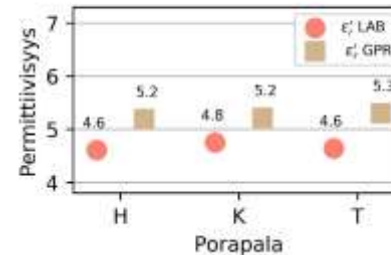
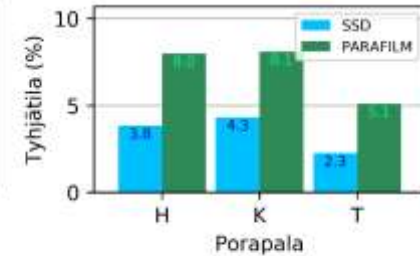
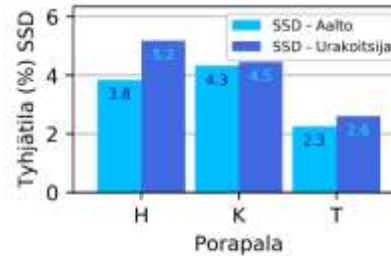


Porapalatulokset

SMA16	N	SA (%)	G _{mm}	G _{mb}	G _{se}	TT (%)	KF (%)	Kivi (%)	Kuitu (%)
Ohjeavot OA	-	6,2	2,401	2,350	2,636	2,1	9,5	90,5	0,3
Mitattu Aalto	3	6,1	2,377	2,294	2,603	3,5	-	-	-
Mitattu Toimija	3	6,1	2,385	2,287	2,613	4,1	-	-	-

- Mittauksien tulokset esitetty raportissa päällystetyypin mukaisesti
- Alla kaikkien mittausten keskiarvot massatyyppin mukaan

	KA Tyhjätila
AB16 (DRY)	3,83
SMA16 (SSD)	2,61

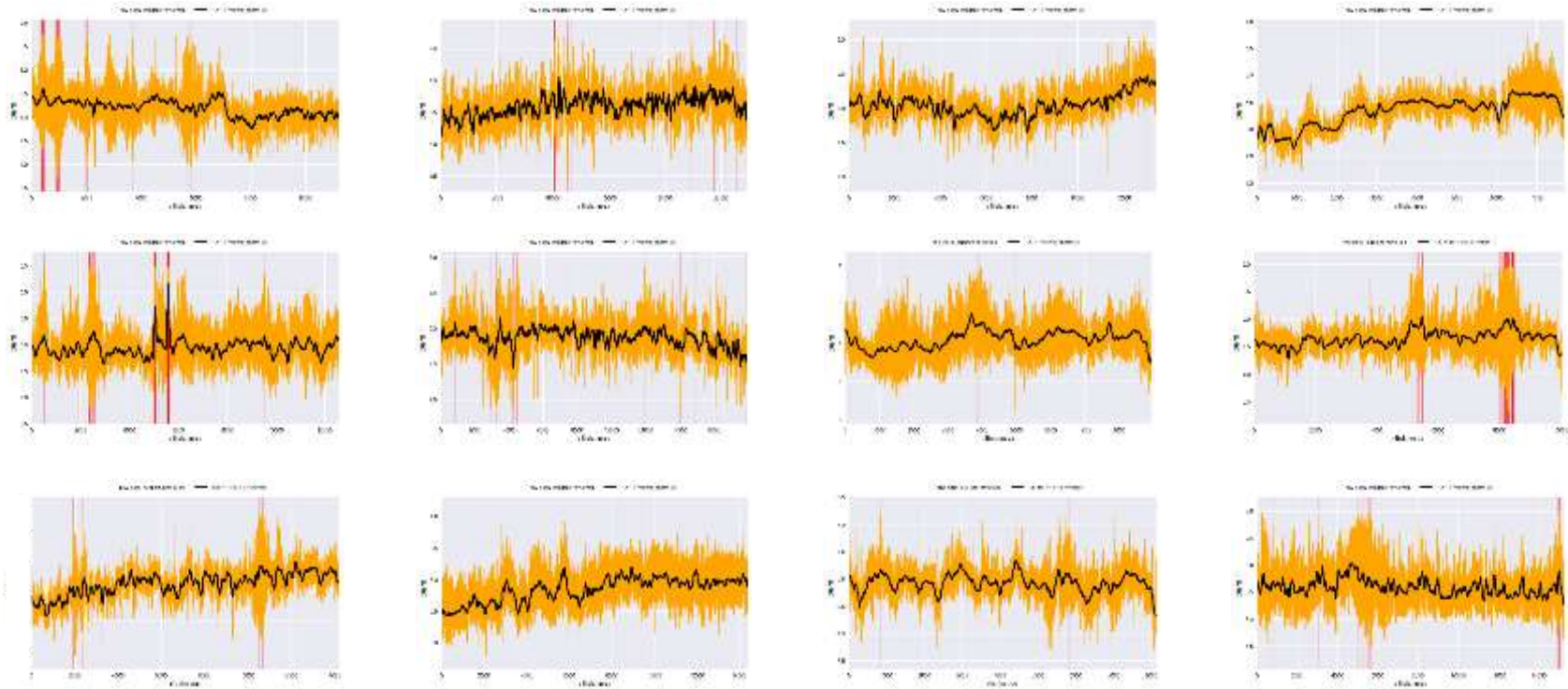


Maatutkamittaukset: tulokset 1

Yleistä

- Yhteensä 160 km tutkimuslinjoja
- Kokonaisuudessaan 300 km
- Mittauspisteitä yhteensä 1,6 miljoonaa
- Permittiivisyyden keskiarvojen tunnusluvut
 - minimi 4,73
 - keskiarvo 5,40
 - maksimi 7,12

Maatutkamittaukset: tulokset 2

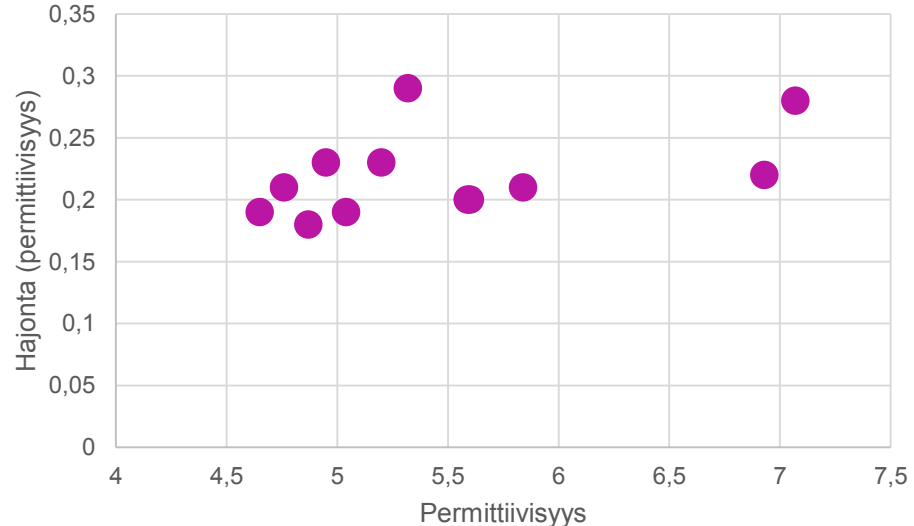


Maatutkamittaukset: tulokset 3

Laitteistokohina

Laitteistokohinan estimoinnilla todellinen permittiivisyyden hajonta on mahdollista laskea kullekin mittauslinjalle

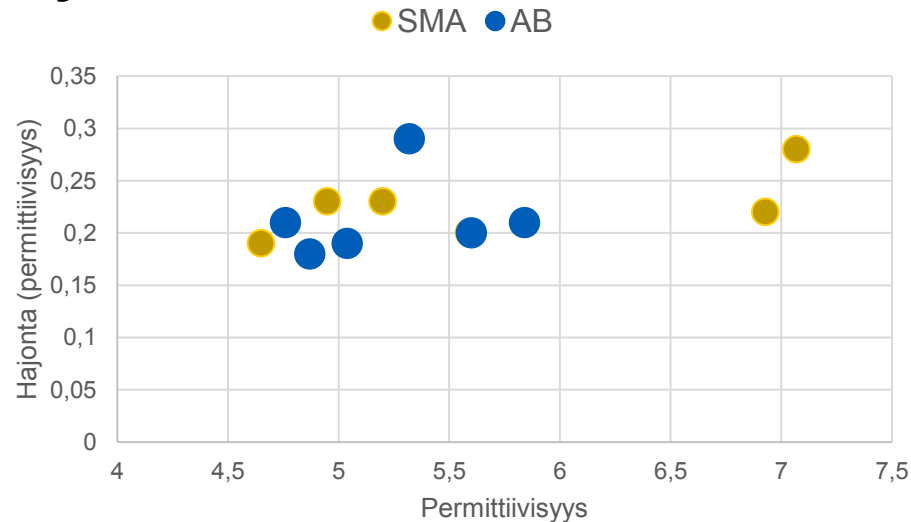
KA	SD	SD (GPR)
5,20	0,23	0,21
4,95	0,23	0,20
5,59	0,20	0,19
4,65	0,19	0,17
7,07	0,28	0,25
6,93	0,22	0,13
5,60	0,20	0,10
5,84	0,21	0,15
5,04	0,19	0,08
4,76	0,21	0,10
5,32	0,29	0,10
4,87	0,18	0,09



Maatutkamittaukset: tulokset 4

Hajonta

Permittiivisyyden hajonnan esiintyminen
AB ja SMA päällysteille



Maatutkamittaukset: tulokset 5

Permittiivisyysvertailu

- Eri prosessointi tuloksissa ei mainittavaa eroa
- Yksi kohde jossa absoluuttinen erotus yli 1
 - Vaikutus näkyy tasoerona
 - Syynä hieman eri prosessointi menetelmät

Kohde	KA Aalto	Erotus Aalto – Urakoitsija
A	5,20	0,37
B	4,95	-0,05
C	5,59	0,21
D	4,65	-0,08
E	7,07	-0,05
F	6,93	1,34
G	5,60	-0,02
H	5,84	0,32
I	5,04	-0,46
J	4,76	0,01
K	5,32	-0,03
L	4,87	-0,63

Maatutkamittaukset: tulokset 6

Kiviaineksen permittiivisyys

Permittiivisyysmallilla (CRIM) laskemalla voidaan tilavuuskomponenttien ollessa tunnettuja laskea kiviainekselle permittiivisyysarvo

Kohde	Resonaattori	GPR 1m	GPR sileä
A	5,39	6,25	6,06
B	5,04	5,92	5,56
C	4,86	6,41	5,61
D	4,26	5,36	5,22
E	6,10	8,56	7,55
F	5,88	8,37	7,10
G	5,45	6,93	6,52
H	5,25	6,29	6,22
I	5,62	6,02	6,64
J	5,40	5,41	5,28
K	5,41	6,40	6,13
L	4,98	5,92	5,57

Maatutkamittaukset: tulokset 7

Pituusalkion vaikutus hajontaan

Kasvattamalla
pituusalkion koko
pystytään osaltaan
eliminoimaan hajontaa

- 0,1 m \rightarrow 1 m

Vaikutus käytännössä
sama kuin
pituussuunnan
suodattamisella



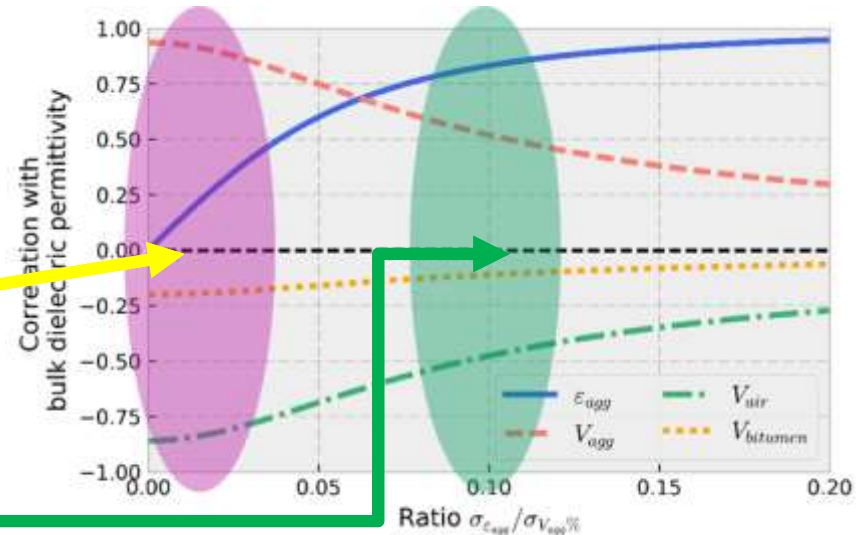
Raportti 3 – Materiaalimalli

Materiaalimallin avulla asfaltin permittiivisyyden käyttäytyminen kertoo kuinka muutos permittiivyydessä näkyy muutoksena tilavuuskomponenteissa, esimerkiksi tyhjätilan muutoksena.

- Kiviaineksen hajonta määräävä tekijä, pystyykö tyhjätilaa erottamaan mittauksista vai ei

Agg hajonta: 0.01
TT hajonta: 1 %

Agg hajonta: 0.1
TT hajonta: 1 %



Raportti 3 – Materiaalimallin prosessi

1. Maatutkamittaus

2. Porapalakalibraatio

- Permittiivisyys – Tyhjätila suhde
- Kalibrointi herkkä mittauskohinalle ilman regularisointia.

3. Ehdollisesti Gaussinen menetelmä

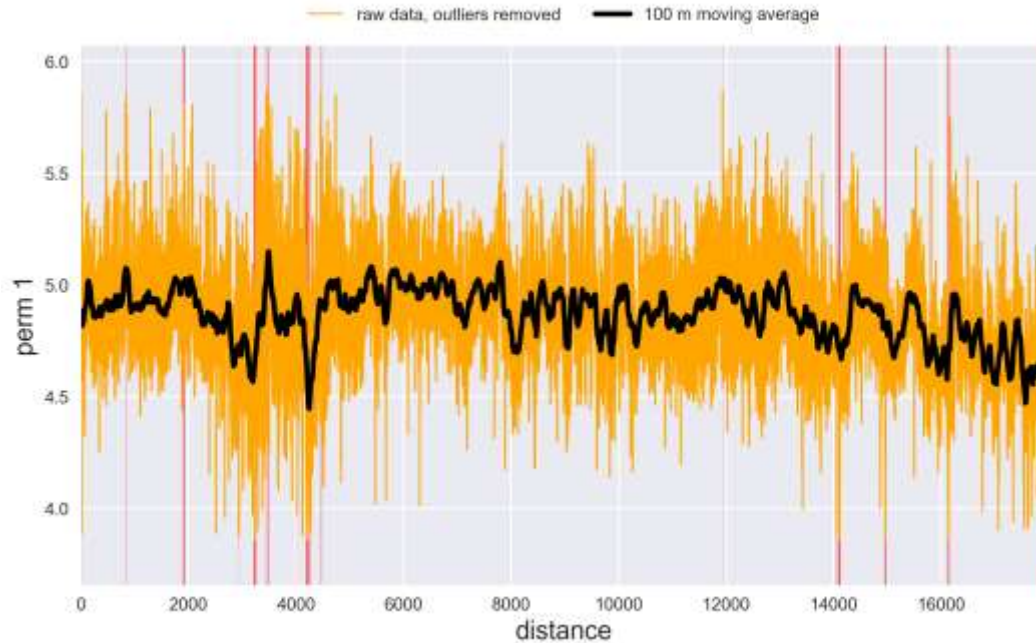
- Estimaatti tyhjätilasta permittiivisyyden perusteella

4. Selviytymisfunktio

- Tilastollinen estimaatti valitusta ylityksestä

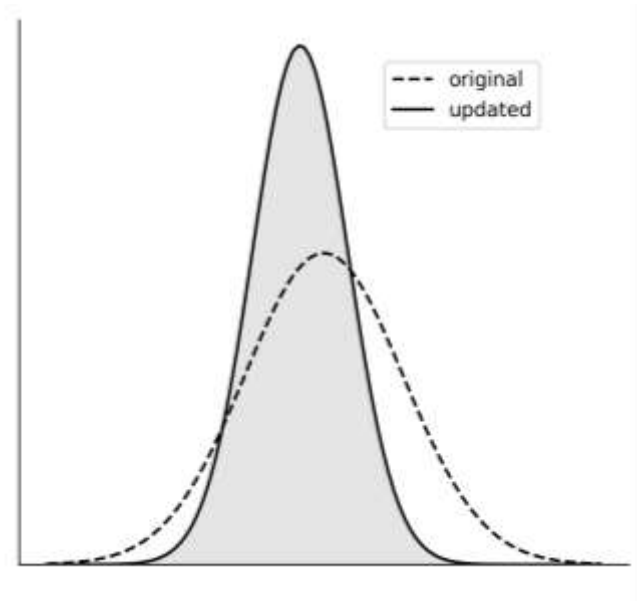
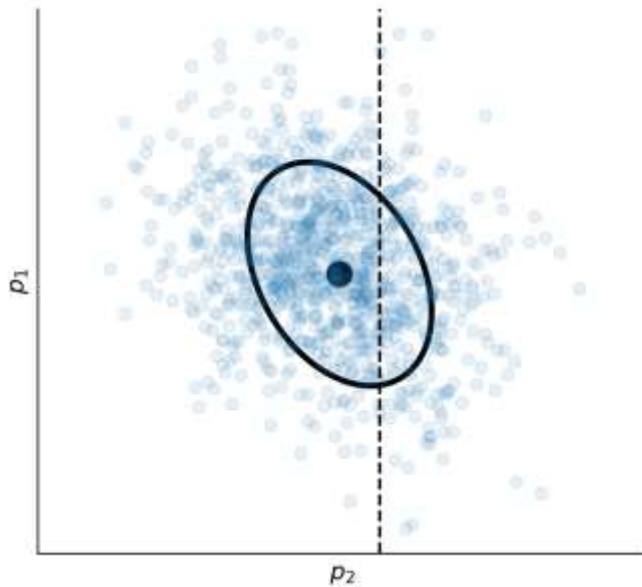
Raportti 3 – Materiaalimalli

1. Maatutkamittaus

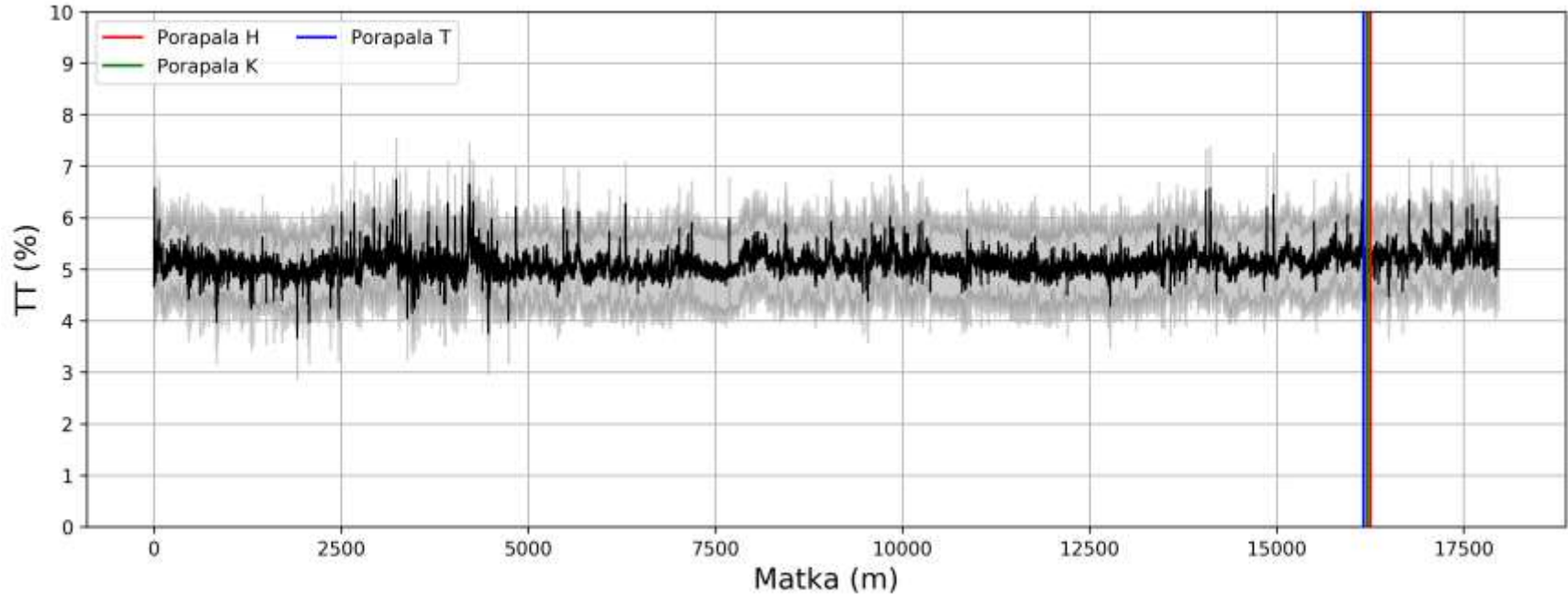


Raportti 3 – Materiaalimalli

2. Mallin estimointi (porapala)
3. Ehdollisesti Gaussinen menetelmä

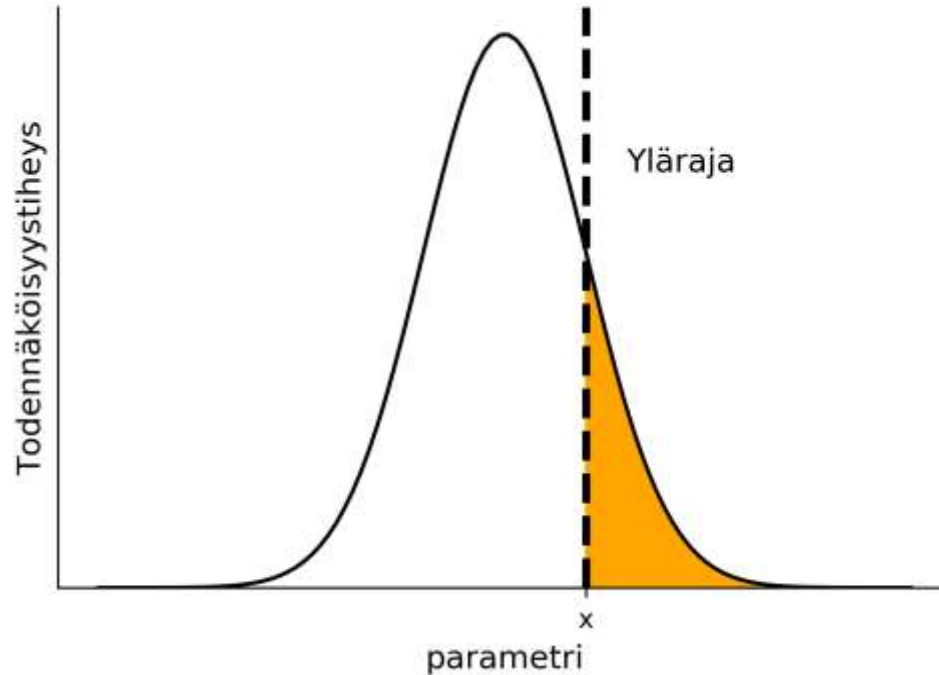


Raportti 3 – Materiaalimalli



Raportti 3 – Materiaalimalli

4. Selviytymisfunktio



Kesä 2017

9 kivenottamolta näytteet onteloresonaattorimittauksia varten

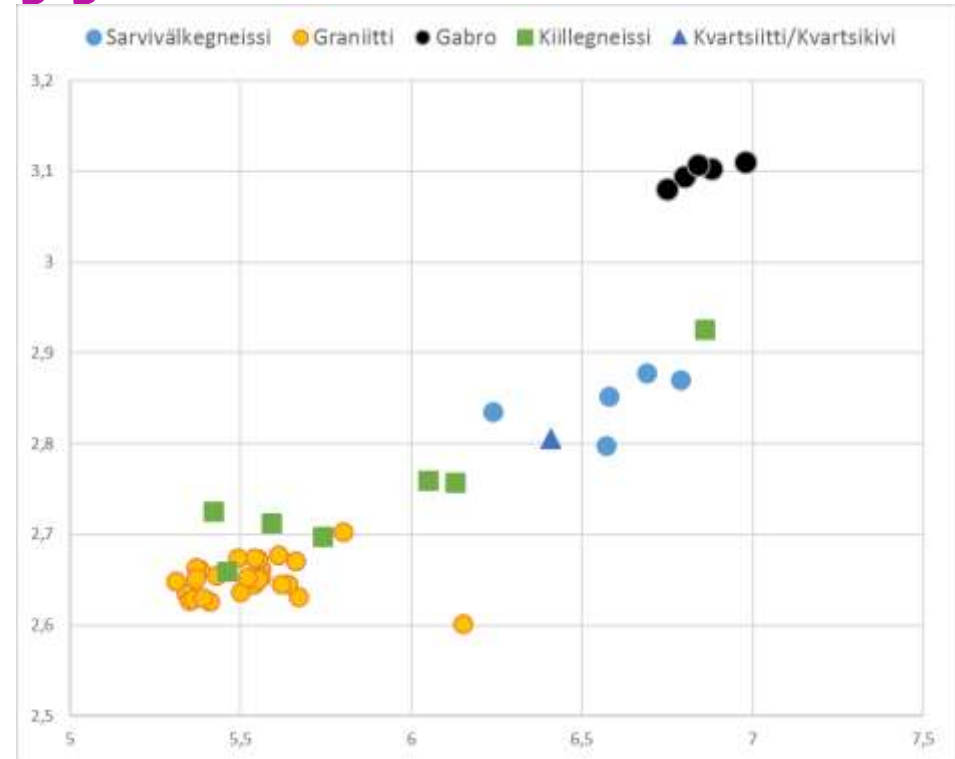
- 5 näytettä per kohde
- Yhteensä 45 näytettä
- Näytteiden tiheydet mitattiin

Kivinäytteet: tulokset 1

tiheys-permittiivisyys –suhde

Kivilajilla positiivinen korrelaatio permittiivisyyden arvon kanssa

- **Mafiset mineraalit (6-7)**
 - Tummat kivet (Gabro)
 - Korkeampi permittiivisyys
 - Suurempi tiheys

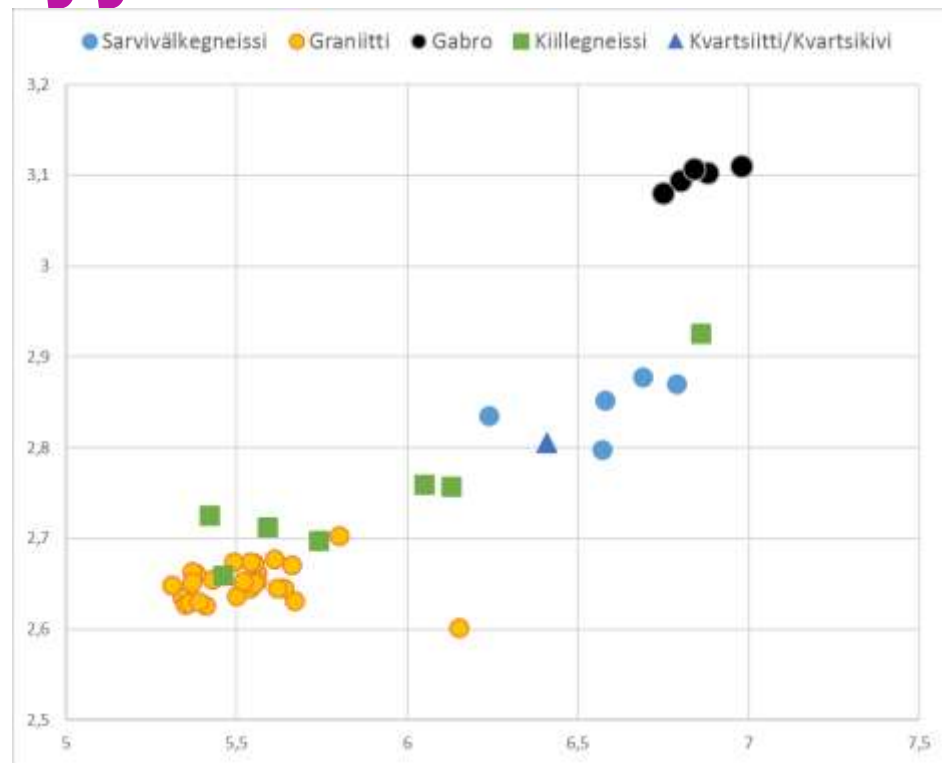


Kivinäytteet: tulokset 1

Tiheys-Permittiivisyys –suhde

Kivilajilla positiivinen korrelaatio permittiivisyyden arvon kanssa

- **Felsiset mineraalit (5-6)**
 - Vaaleat kivet (Graniitti)
 - Alhaisempi permittiivisyys
 - Alhaisempi tiheys
 - Kiilteen määrä vaikuttaa (Biotiitti)



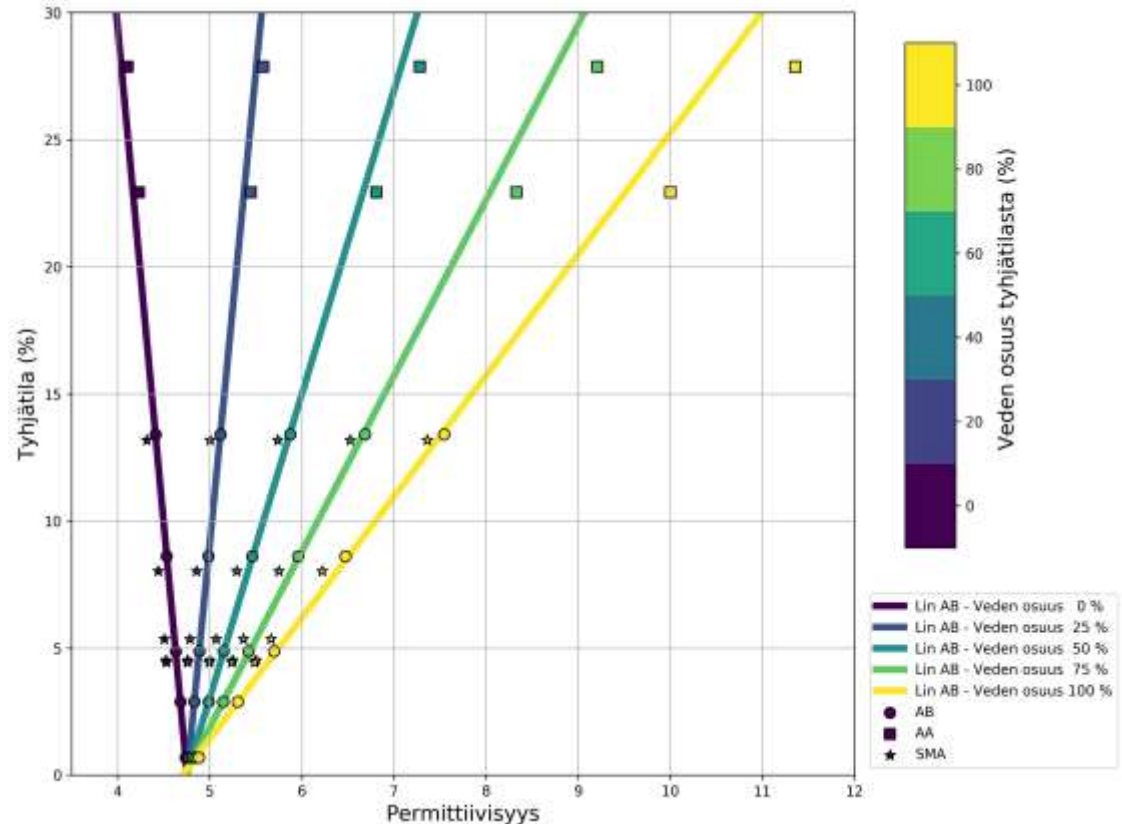
Kivinäytteet: tulokset 2

Permittiivisyysvertailu

Kohde	Resonaattori	GPR 1m	GPR sileä	Kivi resonaattori	Pääkivilaji
A	5,39	6,25	6,06	5,70	Graniitti
B	5,04	5,92	5,56	5,70	Graniitti
C	4,86	6,41	5,61	5,56	Graniitti
D	4,26	5,36	5,22	5,70	Graniitti
E	6,10	8,56	7,55	6,81	Gabro
F	5,88	8,37	7,10	6,81	Gabro
G	5,45	6,93	6,52	5,97	Graniitti/Kiillegneissi
H	5,25	6,29	6,22	6,53	Sarvivälkegneissi
I	5,62	6,02	6,64	6,53	Sarvivälkegneissi
J	5,40	5,41	5,28	6,07	Graniitti/Kiillegneissi
K	5,41	6,40	6,13	6,07	Graniitti/Kiillegneissi
L	4,98	5,92	5,57	5,58	Graniitti

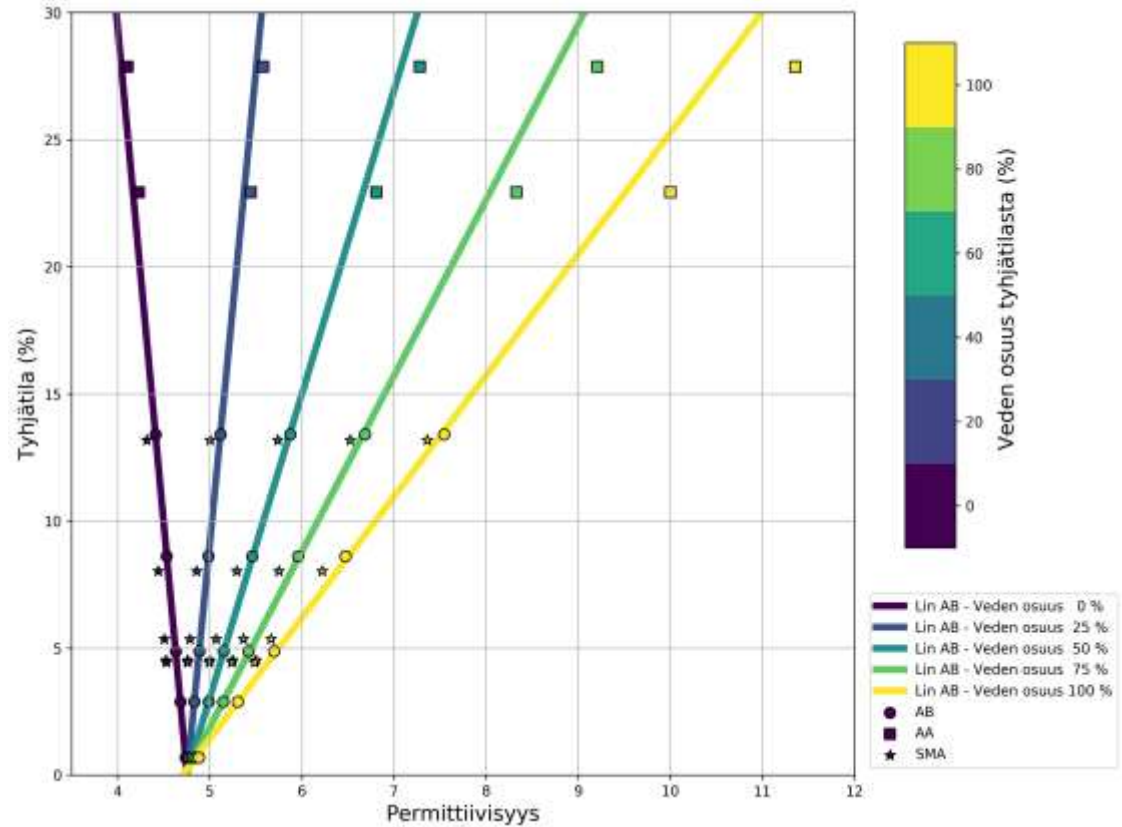
Veden vaikutus: tulokset 1

- Tuntematon veden määrä asfaltissa tuo lisää ongelmia tarkan tyhjätilan laskentaan
- Vesi käytännössä syrjäyttää tyhjätilaa



Veden vaikutus: tulokset 2

- Korkeampi tyhjätila – korkeampi mahdollinen hajonta



Yhteenveto 1

- **Hallituissa olosuhteissa tyhjätilan määrittäminen onnistuu**
 - Kiviaineksen sähköiset ominaisuudet homogeenisia
 - Veden määrä vakio ja tunnettu
- **Hallitsemattomissa olosuhteissa permittiivisyys ei edusta tyhjätilaa**
 - Permittiivisyyden muutos ei indikoi tyhjätilan muutosta tarkasti
 - Mahdolliset muut syyt nähtävään permittiivisyyden muutokseen
 - *Kiviaines*
 - *Vesi*

Tutkimuskysymykset

- Onko käytössä olevan maatutkatekniikan tarkkuus riittävä myös nykyisille ohuille päällystekerroksille?
- Onko nykyinen mittausmenetelmä edustava?
- Jatkuva mittaus oikeasta urasta
- Onko PANK-ohjeistus ajan tasalla?
- PANK-4122 Asfalttipäällysteen tyhjätila, päällystetutkamenetelmä

Tutkimuskysymykset

- **Onko käytössä olevan maatutkatekniikan tarkkuus riittävä myös nykyisille ohuille päällystekerroksille?**

Maatutkatekniikan tarkkuus ei ole määräävä tekijä tyhjätilan selvittämiseksi päällystekerroksesta. Päällysteen muiden komponenttien hajonta määrää maatumittauksen herkkyyden tyhjätilan vaihtelulle

Tutkimuskysymykset

- **Onko nykyinen mittausmenetelmä edustava?**

Maatutkamittauksessa nähtävä muutos ei välttämättä edusta tarkasti tyhjätilan muutosta

Tutkimuskysymykset

- **Jatkuva mittaus oikeasta urasta**

Tutkimuksessa ei huomattu tämän aiheuttaneen ongelmia

Tutkimuskysymykset

- Onko PANK-ohjeistus ajan tasalla?
- PANK-4122 Asfalttipäällysteen tyhjätila, päällystetutkamenetelmä

Päällysteen homogeenisuuden arviointiin tutkalla tulisi käyttää muuta menetelmää kuin muuttaa permittiivisyys suoraan tyhjätilaksi

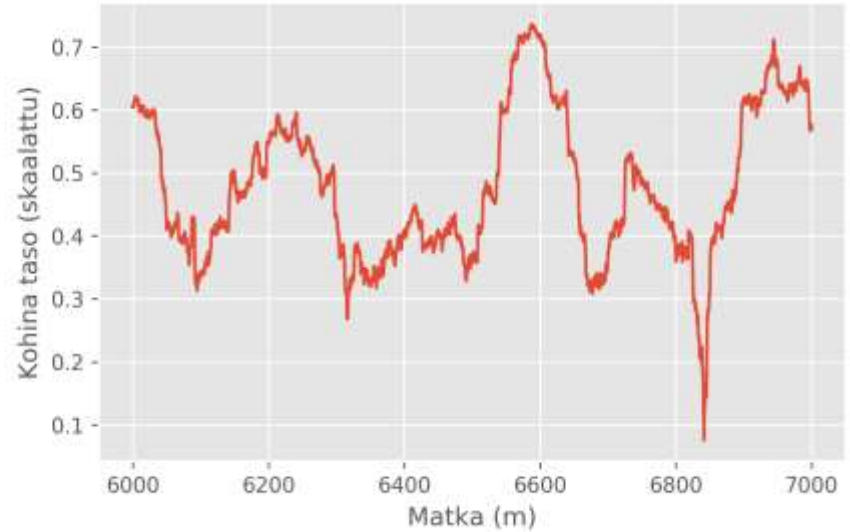
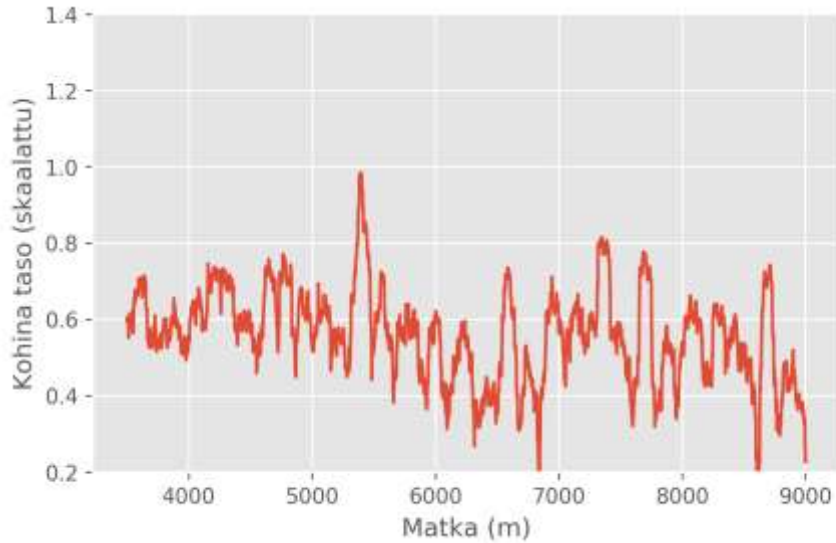
Tulevaisuus 1

- **Yksi potentiaalinen vaihtoehto on siirtyä tyhjätilan mittaamisesta päällysteen suhteelliseen homogeenisuuden mittaamiseen**
- **Tällöin voidaan hyödyntää mittaussymmetriaa, joka tarkoittaa sitä, että kunkin mittauksen vaikutussäde on osaltaan yhtenäinen edellisen ja seuraavan mittauksen kanssa. Tämän perusteella voidaan olettaa, että mahdollinen permittiivyyden muutos maatukamittauksessa on tiettyyn asti rajallinen**
- **Materiaalin (asfaltin) keskimääräisten ominaisuuksien muutos voidaan olettaa sileäksi (hitaasti muuttuvaksi)**
- **Kiviaineksen permittiivisyyden muutos todennäköisesti myös hidas (geologinen vaihtelevuus)**

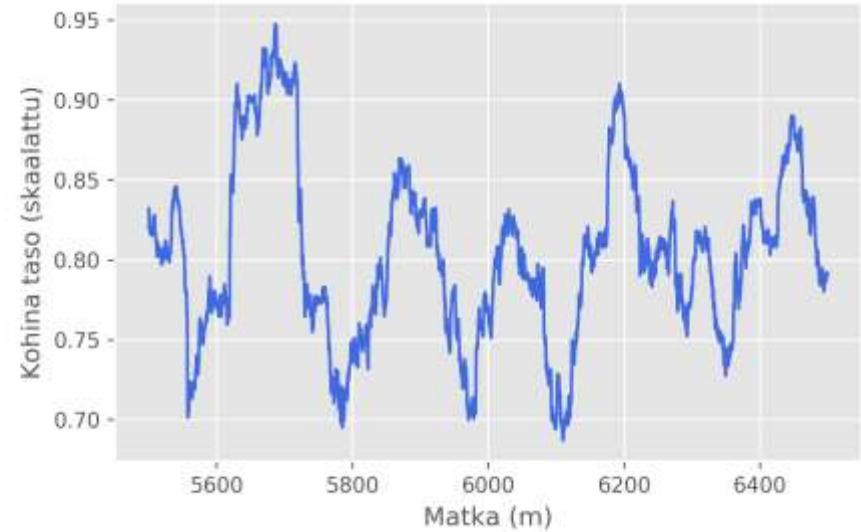
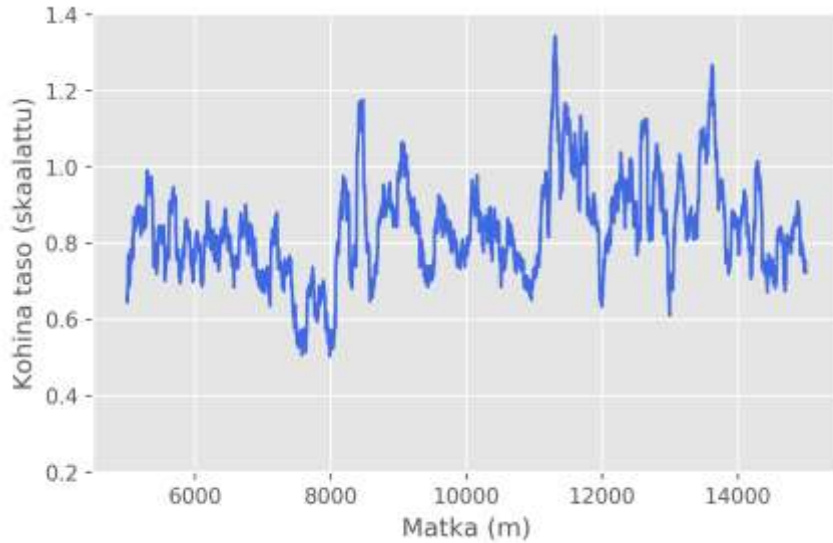
Tulevaisuus 2

- **Hyödyntämällä edellisiä oletuksia voidaan siirtyä tarkastelemaan mittauksen absoluuttisen tason (permittiivisyys) sijasta maatutkamittauksen tiestä johtuvaa permittiivisyyden hajontaa.**
- **Menetelmässä laitehajonta täytyy poistaa mitatuista arvoista**
 - Oletuksena muuttuva Gaussinen kohina
- **Menetelmä tarvitsee vielä lisäselvityksiä, jotta tarvittavat raja-arvot voidaan määrittää**

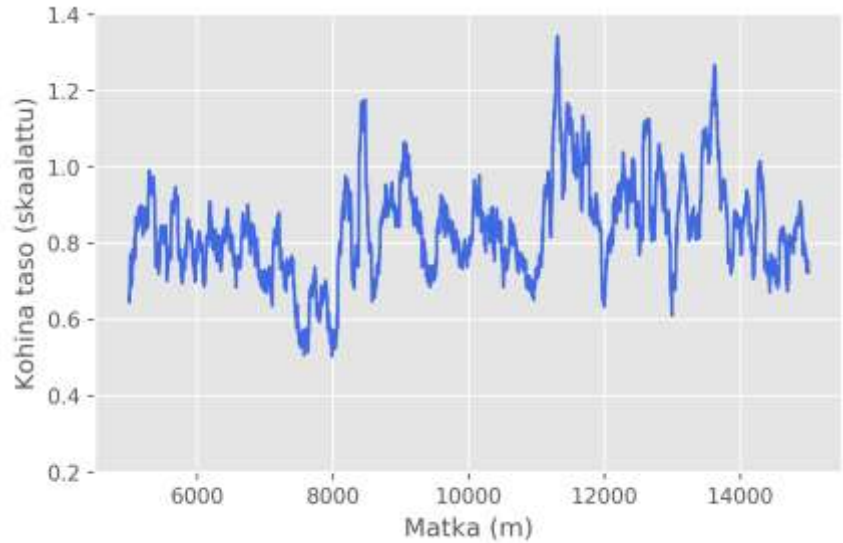
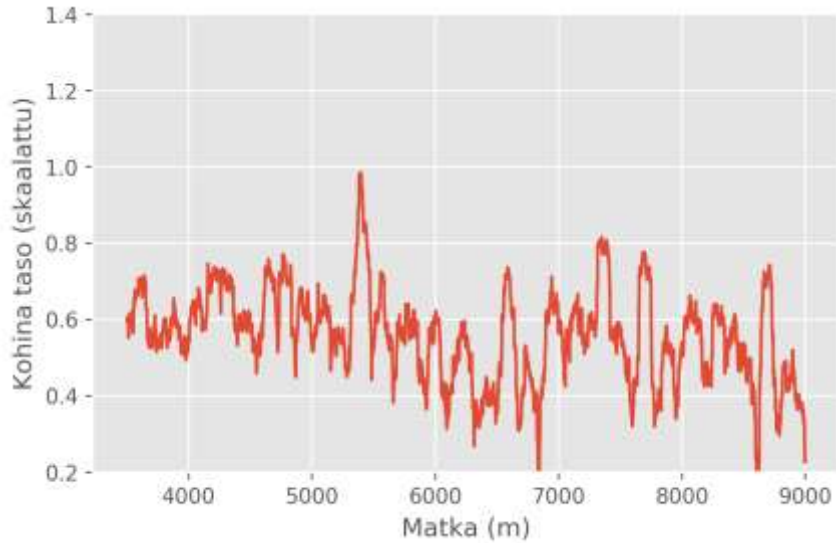
Homogeenisuusmittaus



Homogeenisuusmittaus



Homogeenisuusmittaus





Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu

Kiitos