

# Sillan päällysrakenteen toiminta

**Betonin ja asfaltin välinen tartunta**

**Tutkimuksen tilaaja: Katri Eskola, Väylävirasto.**

**Diplomityön ohjaajat: Tampereen yliopisto: Pirjo Kuula & Anssi Laaksonen  
Väylävirasto: Katri Eskola & Jussi Vuotari & Jari Nikki**

**Diplomityön tekijä: Samuli Nuotio**

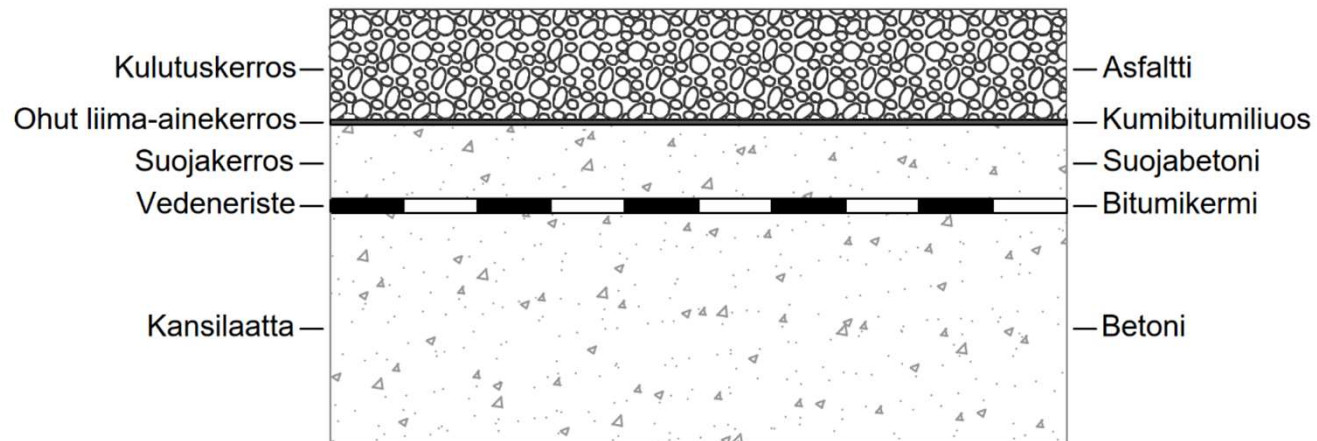
# Betonisilloilla haasteita

- Betonisilloilla on hiljattain havaittu ongelmia päällysteiden pitkäaikaiskestävyyden kanssa.
  - Päällysteet deformoituvat ja irtoavat alustastaan ennen aikojaan.



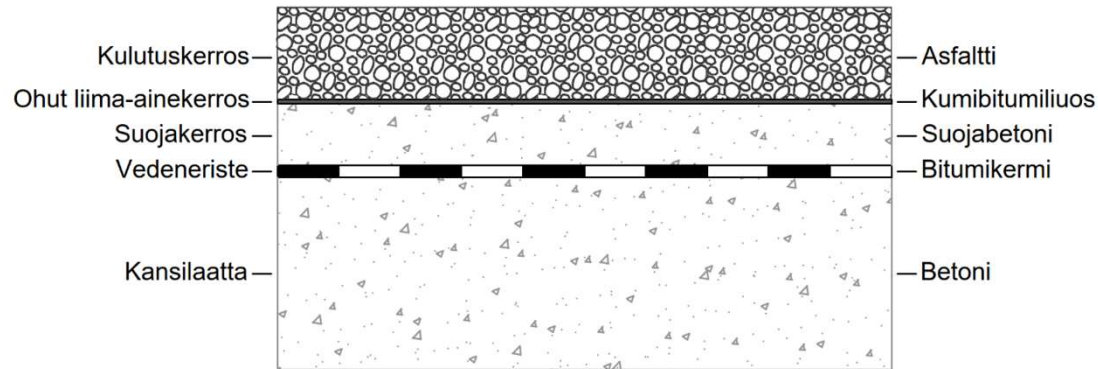
# Suojabetonin tyypirakenne

- Betonisiltojen pintarakenteet voidaan toteuttaa monella tavalla. Yksi niistä on suojabetonilaatallinen rakenne.
- Suojabetonilaatallisen pintarakenteen tyypikuva:



# Testattavat hypoteesit:

- Hypoteesi:  
Asfaltti on altis vaurioitumiselle, kun sen tartunta suojabetonilaataan on heikko.
- Sillanrakentajien kentältä oltiin kuultu kokemuksia siitä, että suojabetonilaatan pinnan ominaisuudet saattavat vaikuttaa tartuntalujuuteen.
- Tartuntalujuuteen vaikuttavia tekijöitä haluttiin testata laboratorio-olosuhteissa.
- Asfaltin ja betonin välistä tartuntalujuutta mitattiin vetokokeella..



# Testattavat hypoteesit:

- Testattavat hypoteesi:

1. Betonin pinnan sileys/karheus vaikuttaa asfaltin tartuntaan.
2. Betonin pinnan pölyisyys vaikuttaa asfaltin tartuntaan.
3. Liima-aineena käytetyn sivelyn valinta vaikuttaa asfaltin tartuntaan.
4. Liima-aineena käytetyn sivelyn määrä vaikuttaa asfaltin tartuntaan.
5. Betonin kosteus päällystyshetkellä vaikuttaa asfaltin tartuntaan.

# Testausmenetelmä:



- Vetokoelaite
  - Teräksisiä "nappeja" liimataan testattavaan rakenteeseen ja napit vedetään irti.



# Koekappaleiden valmistus

- Testattavat laatat valettiin C35/45 valmisbetonista. Tuotenimi ”silkobetoni SB45”.
- Eri laatat hierrettiin tarkoituksella eri pinnan karheuksiin.
- Laatat valettiin muovimuotteihin ja päällystettiin sähköstaattisesti kiinnittyvällä suojamuovilla.
  - Laatat olivat muovin alta kosteita vielä kahden viikonkin päästä. Laatat kasteltiin ja suojamuovit aseteltiin uudelleen päälle. Jälkihoidon voidaan katsoa onnistuneen.
- Laatat kovettuivat olosuhdehuoneessa, jossa vallitsee 22C lämpötila sekä RH 50%.
- Kokonaisuudessaan laattoja valettiin 15-20 kappaletta:



# Rakenteen ominaisuuksien variointi:

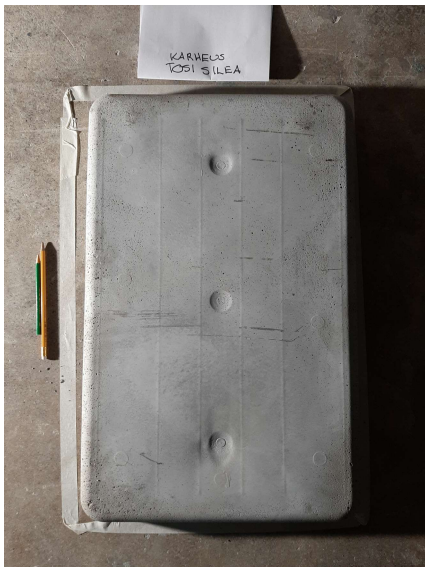
- Betonin pinnan karheus:
  - Miten vaikutettiin: Hierto. Suihkupuhdistus.
  - Miten arvioitiin: SILKO-kokoelma (SILKO 1.203) antaa määritelmiä pinnan suihkupuhdistuksen eri tasoille.
  - Tehtiin 4 karkeudeltaan erilaista betonilaattaa.
- Betonin pinnan pölyisyys.
  - Tehtiin sekoitus betonin hiomisessa syntyneestä hienoaineksesta ja 0,25/0,5 + 0,5/1 kivimateriaalista.
  - Tätä ”pölyä” levitettiin testattavien rakenteiden pinnoille ns. ”paljon” ja ”vähän”.
    - ”Vähän pölyä” simuloi huonosti imuroidun betonin pintaa.
    - ”Paljon pölyä” simuloi imuroimattoman betonin pintaa.





# Rakenteen ominaisuuksien variointi:

- Karheuslaatoilla oli 4 eri karheustasoa.
  - “Tosi sileä” on muovimuottia vasten valettu betonipinta. Pesemätön ja rouhimaton.
  - “Sileä” on valetun laatan ilman vastainen yläpuoli, joka on hieron aikana tasoitettu ja myöhemmin pesty painepesurilla. Tämä vastaa silko 1.203 kuvan 42 mukaista pintaa.
  - “Keskikarhea” on karheaksi hierretty ja painepesurilla pesty pinta, jossa on betonin kiviainesta näkyvissä ja karheus on huomattavaa. Tämä vastaa silko 1.203 kuvaa 44.
  - “Karhea” on hyvin karheaksi ja jopa epätasaiseksi hierretty betonipinta, joka on huolellisesti pesty painepesurilla. Karheus ja epätasaisuus on huomattavaa.



# Koelaattojen pinnoitus:

- Sillan korjausohjeet (SILKO-kokoelma) antaa sillanrakentajille ohjeistusta pinnoitusaineiden käytöstä ja määristä.
- Ohje antaa pinnoiteaineen määrille ylä- ja alaraja-arvot.
- Koekappaleissa, jossa ei varioitu pinnoitteen määrä, käytettiin ylä- ja alaraja-arvoista laskettua keskiarvoa pinnoitteen määränä.



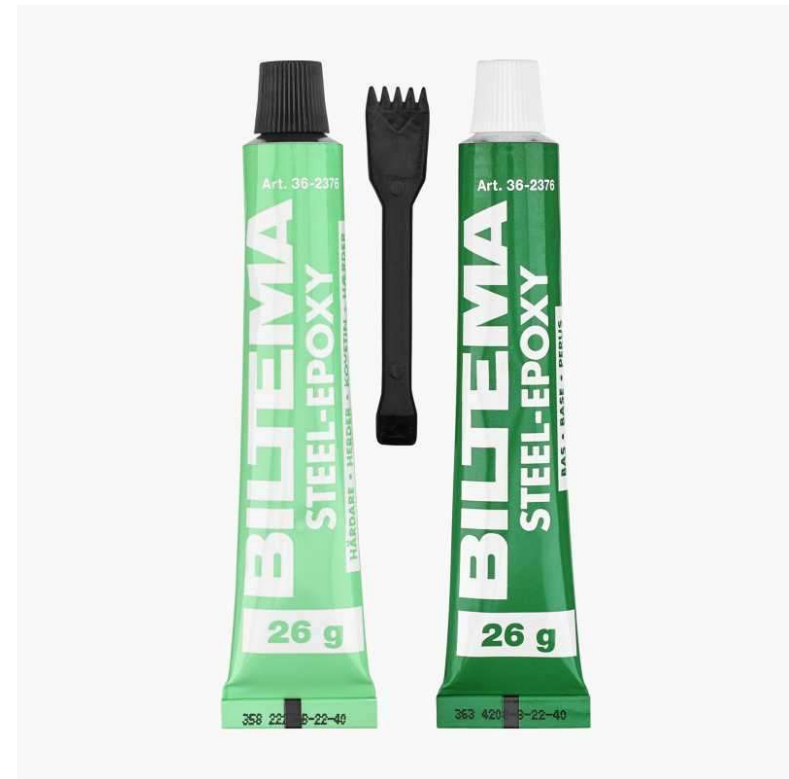
# Testausmenetelmä:



- Laattoihin porattiin noin 6mm syvät ympyrän muotoiset urat. Vedettävät teräs “napit” liimattiin tämän ympyrän keskelle.

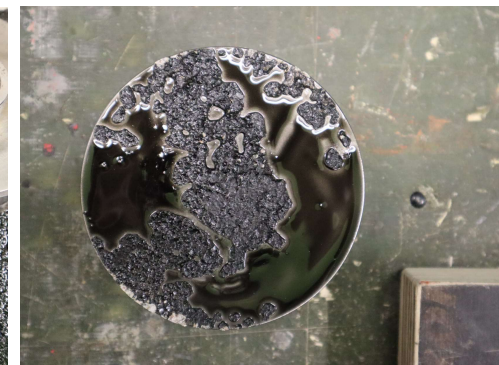
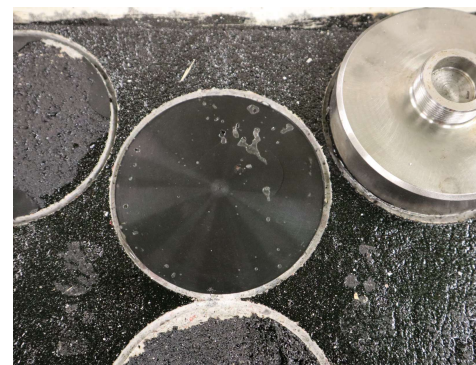
# Testausmenetelmä:

- Kokeiltiin yli kahdeksaa erilaista liimaa ja liimausmenetelmää. Tavoitteena oli löytää liima, jonka tartuntalujuus ylittäisi betonin ja pinnoitteen välisen tartuntalujuuden.

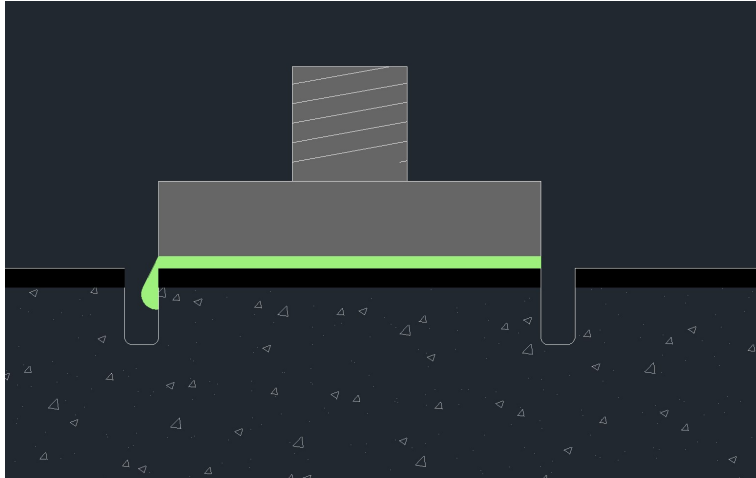


# Testausmenetelmä

- Teräsnapit vedettiin laatoista irti ja vetävää voimaa mitattiin.
- Rakenne voi murtua eri tavoin:
  - Betonin koheesiomurto. Tässä betoni murtuu, ja muut kerrokset jäävät ehjiksi.
  - KBL tai BL koheesiomurto. Tässä KBL tai BL murtuu ja muut kerrokset jäävät ehjiksi.
  - Liimapintojen adheesiomurto. Tässä teräsnapin kiinnitys testattavaan rakenteeseen ei ole onnistunut.
  - Rakenne voi murtua yllä mainittujen murtotapojen yhdistelmänä.
- Suurin osa kappaleista murtui KBL/BL koheesio- ja adheesiomurtona. Tämä on toivottu murtotapa, joka kertoo KBL/BL tartunnasta rakennekerrokseen, sekä sen sisäisestä vetokapasiteetista.
- Osa testaustuloksista kirjattiin tuloksiin minimi- tai maksimiarvona.

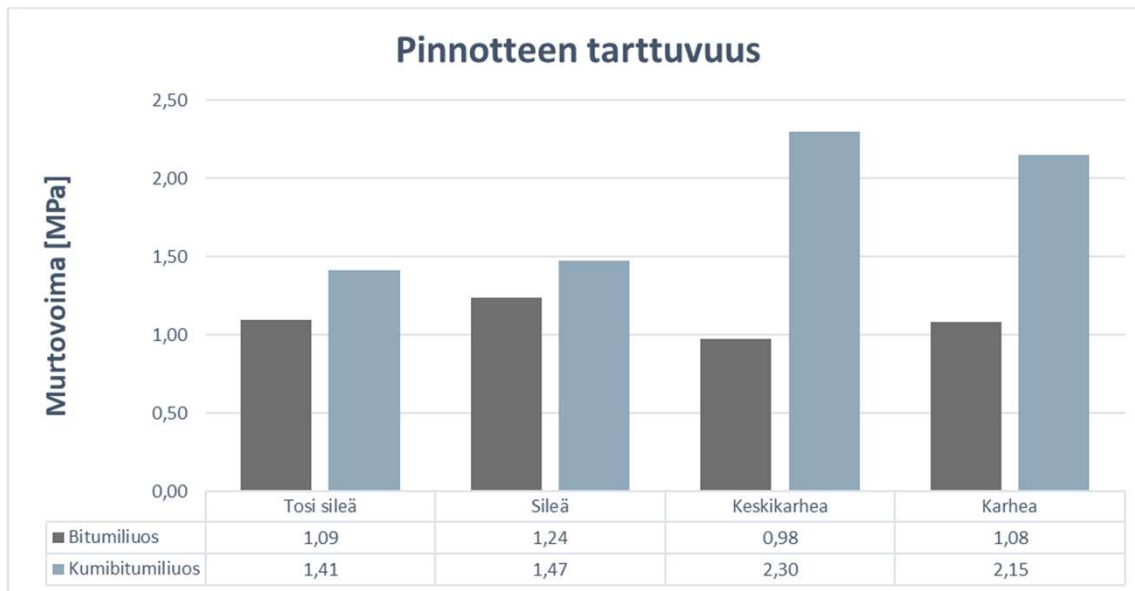


# Sivuliiman vaikutus



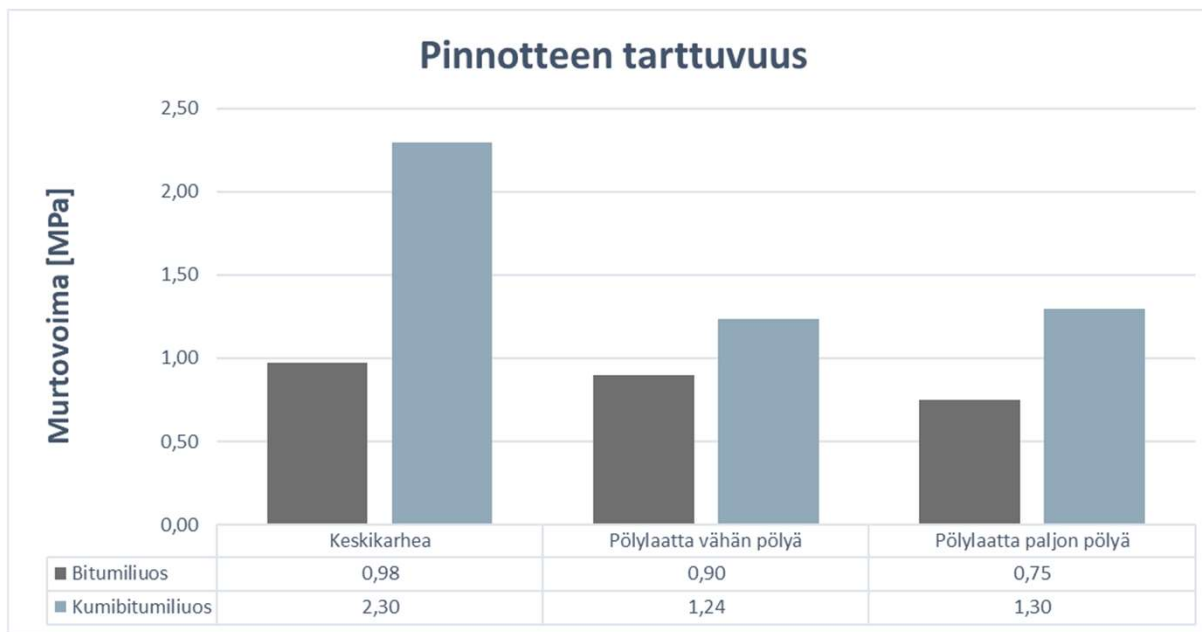
# Pinnoitteiden tartuntalujuuksia

- Nämä tulokset on tehty kappaleille, joissa betonin päälle on levitetty liimaava sively. Tämän sivelyn tartuntaa betoniin testattiin.
- Kaikki alla olevat tulokset ovat yksikössä MPa.
- Betonin karheutta varioitiin:



# Pinnoitteiden tartuntalujuuksia

- Betonin pölyisyyttä varioitiin:

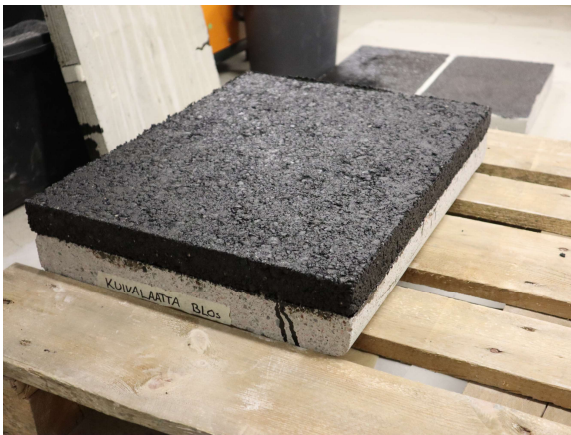


- Molemmilla sivelyillä havaitaan tartuntavetolujuuden aleneminen, kun siveltävässä pinnassa on epäpuhtauksia.

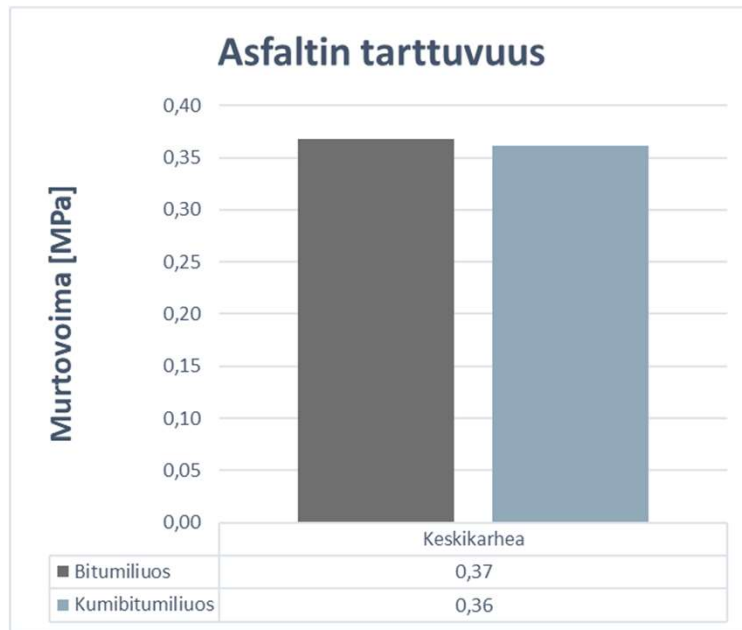


# Asfaltin ja pinnoitteen tartuntalujuuksia

- Valmistettiin koerakenteita, joissa betonin ja pinnoituksen päälle valettiin asfalttia.



# Asfaltin ja pinnoitteen tartuntalujuuksia



Asfaltin ja betonin välinen tartuntalujuus on selvästi heikentynyt verrattuna pelkän pinnoitteen tartuntalujuuteen. Miksi?

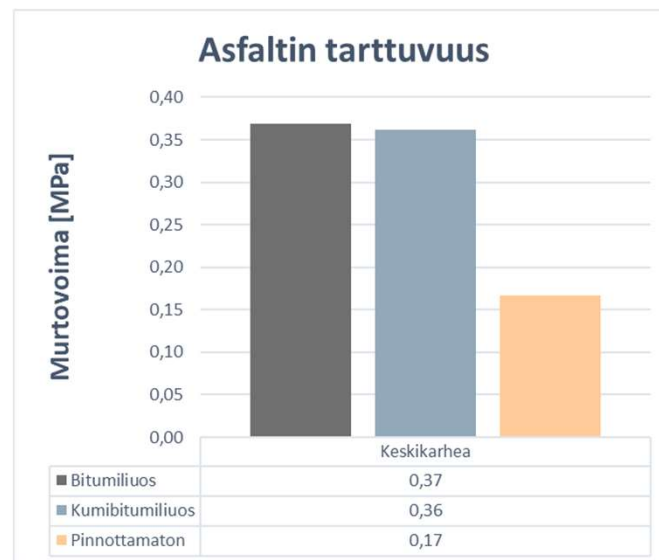
# Asfaltin ja pinnoitteen tartuntalujuuksia

- Kun asfaltoidun ja asfaltoimattoman rakenteen vetokestävyyksissä havaittiin eroja, siirryttiin tutkimaan vain asfaltoituja koekappaleita.
- Ollaan varioitu mm. pinnoiteaineiden määrää ja rakenteen kosteutta.



# Asfaltin ja pinnoitteen tartuntalujuuksia

- Pinnoittamattoman betonin tartunta asfalttiin.
- Vetokuormitettiin rakennetta, jossa puhtaalle betonipinnalle levitettiin asfaltti. Ilman materiaalien välissä olevia liima-aineiden sivelyitä.



- Havaitaan, että pinnoituksella selvästi saavutetaan tartuntalujuuden kasvu.

# Tulosten analysointia

- Keskiarvo ei ole paras mittari.
  - Esim: Kahdella joukolla A ja B on samat keskiarvot.

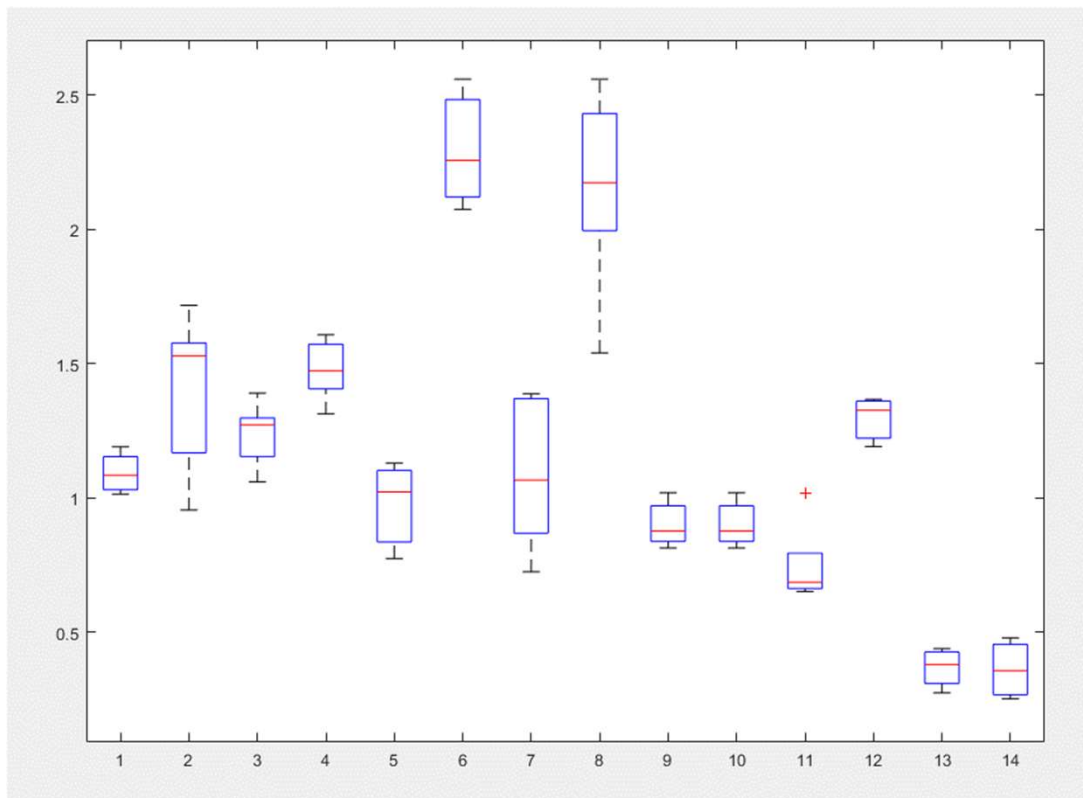
$$A = \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 15 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 9 \\ 10 \\ 11 \end{pmatrix}$$

- Avuksi voidaan tuoda tulosten välinen varianssi ja hajonta.
- Varianssin ja hajonnan avulla voidaan vastata kysymyksiin, kuten:
  - Kuinka paljon piilotettuja muuttujia testaukseen liittyy.
    - Jos varianssi on pientä, piilotettuja muuttujia voidaan ajatella olevan vähän ja testauksen voidaan ajatella olevan onnistunut.

1 = TosiSileäBL	0.0053
2 = TosiSileäKBL	0.0832
3 = SileäBL	0.0137
4 = SileäKBL	0.0118
5 = KeskikarheaBL	0.0332
6 = KeskikarheaKBL	0.0599
7 = KarheaBL	0.0699
8 = KarheaKBL	0.1317
9 = VähänPölyäBL	0.0068
10 = VähänPölyäKBL	0.0068
11 = PaljonPölyäBL	0.0197
12 = PaljonPölyäKBL	0.0062
13 = Asfalttilaatta2BL	0.0055
14 = Asfalttilaatta2KBL	0.0123

# Tulosten analysointia

- Sama ilmiö graafisesti esitettynä:
- Boxplot:



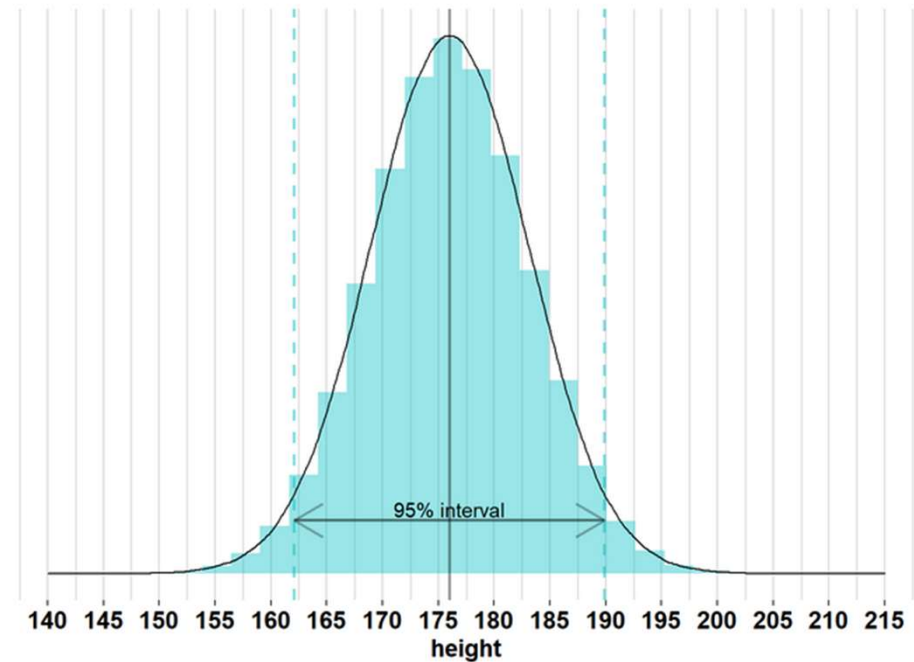
1 = TosiSileäBL	0.0053
2 = TosiSileäKBL	0.0832
3 = SileäBL	0.0137
4 = SileäKBL	0.0118
5 = KeskiKarheaBL	0.0332
6 = KeskiKarheaKBL	0.0599
7 = KarheaBL	0.0699
8 = KarheaKBL	0.1317
9 = VähänPölyäBL	0.0068
10 = VähänPölyäKBL	0.0068
11 = PaljonPölyäBL	0.0197
12 = PaljonPölyäKBL	0.0062
13 = Asfalttilaatta2BL	0.0055
14 = Asfalttilaatta2KBL	0.0123

# Tulosten analysointia. Varianssianalyysi.

- Testaustulosten välinen vaihtelu:
  - ”Sisäinen vaihtelu”.  
Sisäinen vaihtelu johtuu tuntemattomista muuttujista, jotka vaikuttavat vetokestävyYTEEN.  
Saman koekappaleen sisällä esiintyy tartuntalujuudeltaan heikkoja ja vahvoja kohtia.
  - Variaatiosta aiheutuva vaihtelu.  
Koekappaleiden ominaisuuksia muutetaan tarkoituksella. Tämä aiheuttaa eri koekappaleiden välille tartuntalujuuden vaihtelua.
  - Kun vetotesteistä saadaan vaihtelevia tartuntalujuuden arvoja, onko kyse sisäisestä vaihtelusta, vai variaatiosta johtuvasta vaihtelusta?

# Tulosten analysointia. Varianssianalyysi.

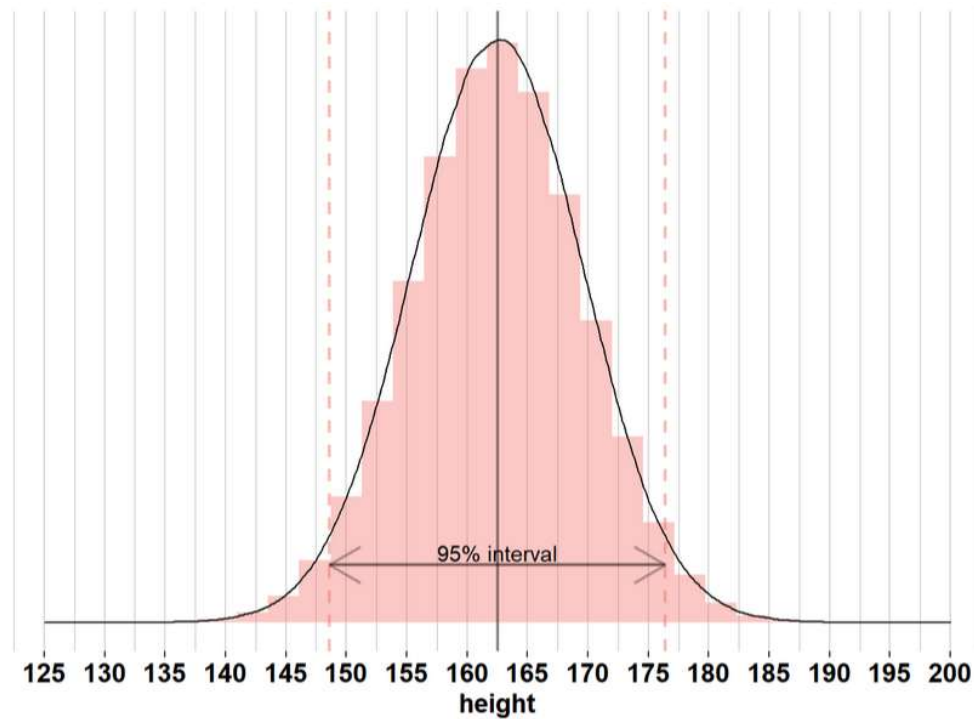
- Normaalijakautunut muuttuja:
  - Edustaa, kuinka yleistä mittaustuloksen esiintyvyys on koko populaatiossa.
- Varianssianalyysissä vetokokeiden mittaustulokset on oletettu noudattavan normaalijakaumaa.
  - Oletus on melko turvallinen, mutta ei varma.



<https://bookdown.org/content/1c8fedce-597c-462d-bfdd-e1a0f2c8596d/2-1-population-versus-samples.html>

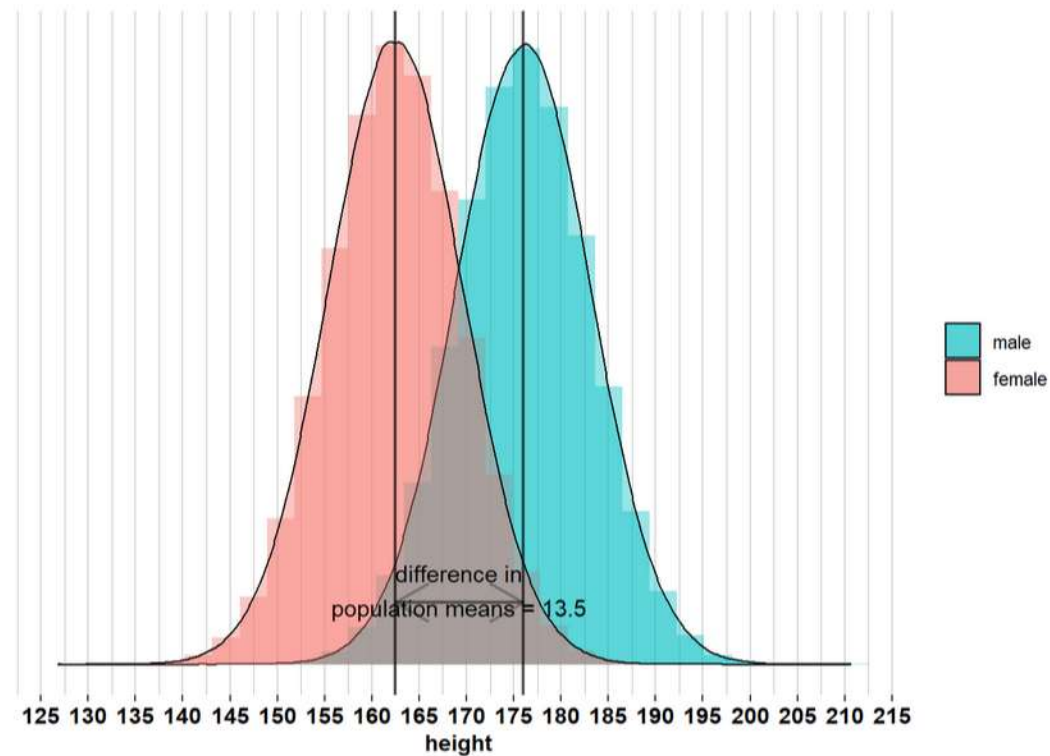


# Tulosten analysointia. Varianssianalyysi.



<https://bookdown.org/content/1c8fedce-597c-462d-bfdd-e1a0f2c8596d/2-1-population-versus-samples.html>

# Tulosten analysointia. Varianssianalyysi.



<https://bookdown.org/content/1c8fedce-597c-462d-bfdd-e1a0f2c8596d/2-1-population-versus-samples.html>

# Tulosten analysointia. Varianssianalyysi.

- Varianssianalyysillä voidaan laskea varmuus sille, että kaksi populaatiota ovat erillisiä joukkojaan.
- Testausdatasta laskettuja varmuuksia:
  - Keskikarhea vs Sileä, BL: 97%
  - Keskikarhea vs Sileä, KBL: 77%
  
  - Sileä vs Tosi sileä, BL: 96%
  - Sileä vs Tosi sileä, KBL: 37%
  
  - Keskikarhea vs Karhea, BL: 43%
  - Keskikarhea vs Karhea, KBL: 46%
  
  - Keskikarhea vs Vähän pölyä, BL: 60%
  - Keskikarhea vs Vähän pölyä, KBL: 100%
  
  - Keskikarhea vs Paljon pölyä, BL: 92%
  - Keskikarhea vs Paljon pölyä, KBL: 100%

# Tutkimuksen jatko

- Kirjallisuusselvityksen viimeistely
- Kokeellinen osuus
  - Pyritään selvittämään, mikä on asfaltin deformaatiokestävyyden ja asfaltin laadun vaikutus siltojen päällystevaurioihin.
  - Pyritään selvittämään, miksi laboratoriokokeiden tulokset muuttuvat radikaalisti, kun tarkastellaan pelkän pinnoitteen vetolujuutta verrattuna asfaltoidun rakenteen vetolujuuteen.
  - Selvitetään, miten pinnoiteaineiden määrä vaikuttaa asfaltin tartuntalujuuteen.
- Ovatko edellä esitellyt tulokset sovellettavissa käytäntöön. Tuloksissa esiintyy epä johdonmukaisuuksia, joita ei vielä ymmärretä.
- Yhdellä diplomityöllä saadaan vain rajallinen määrä tuloksia eli työtä pitänee jatkaa vielä tämänkin jälkeen

# Kysymyksiä ?