

AYA KASSEM,
ADRIAN HAGEN LINNERUD,
THOMAS SKOG MARTINUSSEN

Digitale tvillinger for kvalitetskontroll av asfaltdekker

Om oss

Adrian Hagen Linnerud

- Energi- og bærekraftsrådgiver i itech as 2023-nåværende
- Bachelor i Byggingeniør retning konstruksjonsteknikk – OsloMet 2020-2023



Aya Kassem

- Master i Sivilingeniør- Bygg konstruksjonsteknikk – OsloMet 2023-2025
- Bachelor i Byggingeniør retning konstruksjonsteknikk – OsloMet 2020-2023



Thomas Skog Martinussen

- Teknisk driftssjef i Malling & Co forvaltning AS 2023-nåværende
- Bachelor i Byggingeniør retning konstruksjonsteknikk – OsloMet 2020-2023



Samarbeidspartnere

- Statens vegvesen og OsloMet
- Veiledere:
Rabira Garba Saba
Berthe Dongmo-Engeland
- Veiledning i laboratoriet:
Johnny Stenshagen og
John Sebastian Hov

OSLOMET



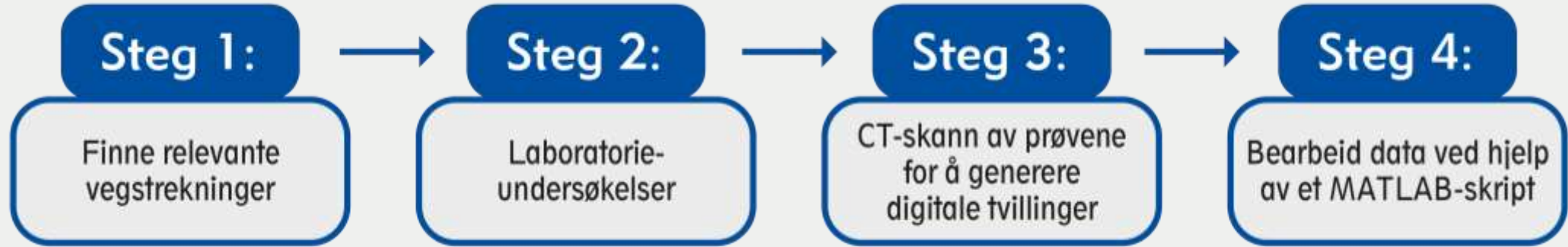
Statens vegvesen

Bakgrunn for valg av oppgaven

- Riktig mengde hulrom spiller en viktig rolle for levetiden
- I dag brukes to metoder for måling av hulrom i kvalitetskontroll av asfaltdekker
- Statens vegvesen ønsker en metode for beregning av hulrom for hele skalaen

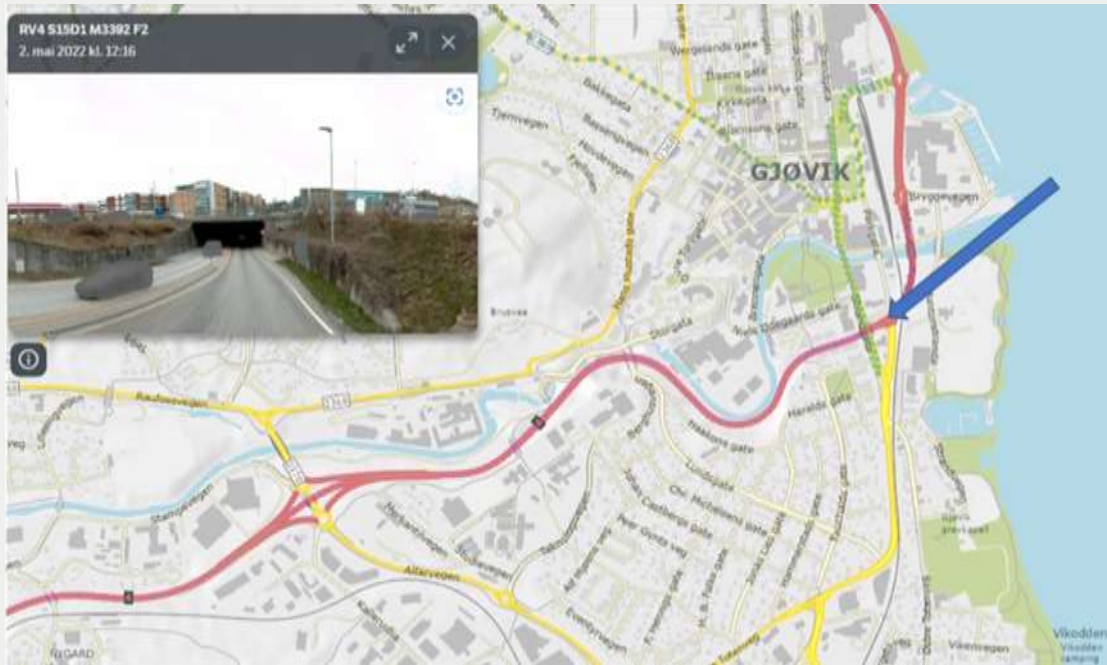
Problemstilling

I hvilken grad kan produktion af en digital tvilling af asfaltdekker erstatte og/eller supplere laboratorieundersøgelser for at kontrollere kvaliteten af asfaltdekker?

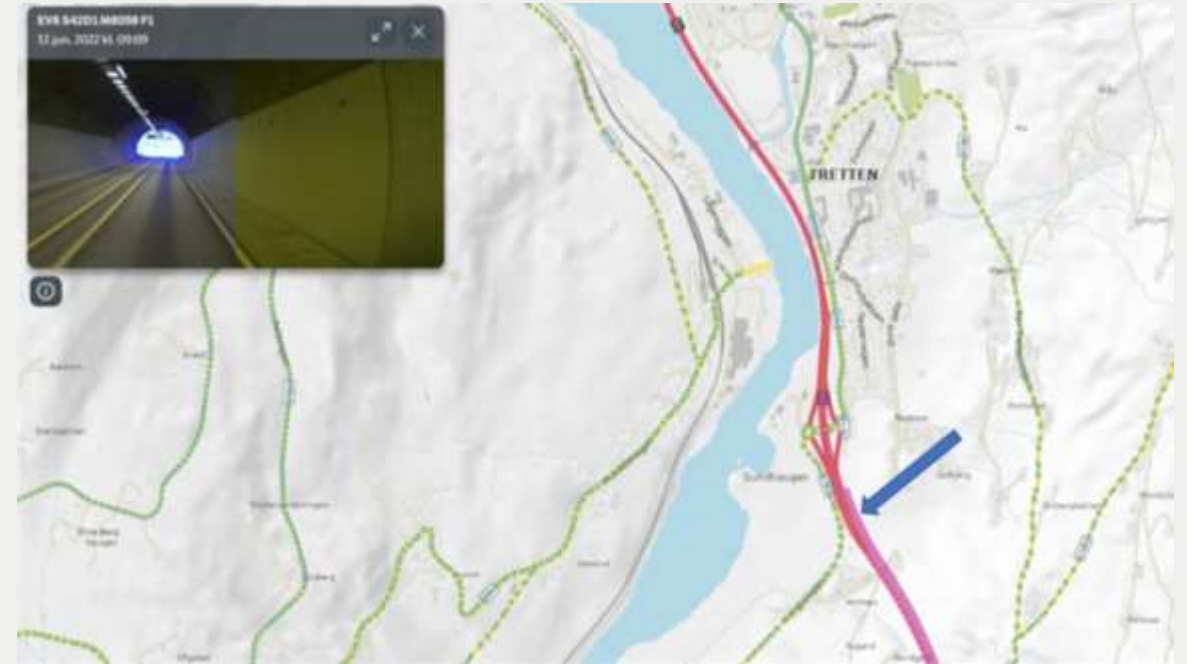


Gjennomføring

Riksveg 4 Gjøvik (G-serien)



Europaveg 6 Tretten (H-serien)



Steg 1: Valg av vegstrekninger

- Tatt ut borkjerner fra riksveg 4 på Gjøvik og E6 på Tretten.
- Utlagt med samme asfalttype, Ska 16, som benyttes på strekninger med mye trafikk og krav til stabilitet
- Men strekningene har ulikt hulrom

Steg 2: Laboratorieundersøkelser Prøvens densitet

3 metoder:

- Måling med skyvelære
- Hydrostatisk overflatetørr
- Corelok



Måling med skyvelære

- Prøven veies
- Dimensjoner i høyde og diameter måles
- Grov overflatestruktur inkluderes

$$\rho_d = \frac{m_1}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot h} \cdot 10^3$$

hvor:

ρ_d = prøvens densitet i Mg/m³

m_1 = masse tørr prøve med nøyaktighet 0,1 g

d = snittet av diametermålingene med nøyaktighet 0,1 mm



Hydrostatisk overflatetørr

- Prøven veies tørr, nedsenket i vannbad og fuktig
- Volum beregnes på grunnlag av prøvens oppdrift i vann

$$\rho_d = \frac{m_1 \cdot \rho_w}{m_3 - m_2}$$

hvor:

ρ_d = prøvens densitet i Mg/m³

ρ_w = densitet til vann ved 25 °C (0,9971 Mg/m³)



Corelok

- Ikke standardisert, testes ut av SVV
- Prøven vakuumeres
- Veies før og etter vakuumering, og i vannbadet
- Metoden er aktuell for hulrom mellom 7%-10%
- Usikkerheter rundt metoden

$$\rho_d = \frac{m_1}{(m_2 - m_3)/\rho_w - (m_2 - m_1)/\rho_{sm}}$$

Hvor:

ρ_d = prøvens densitet i Mg/m³

ρ_w = densitet til vann ved 25 °C (0,9971 Mg/m³)

ρ_{sm} = tetthet til pose ved 25 °C (Ligger i egen tabell)



Laboratorieundersøkelser

Maksimumsdensitet

- Prøven varmes opp og destrueres
- Prosedyre med stålpyknometer og vann

$$\rho_{mv} = \frac{(m_2 - m_1)}{10^6 \cdot V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w}$$

Hvor:

ρ_{mv} : er maksimumsdensitet av det bituminøse materialet, som bestemt ved den volumetriske prosedyren (Mg/m^3)

m_1 : er masse til pyknometeret medregnet toppstykke og klemme (g)

m_2 : er masse til pyknometeret medregnet toppstykke, klemme og prøven (g)

m_3 : er masse til pyknometeret medregnet toppstykke, klemme, prøven og vann (g)

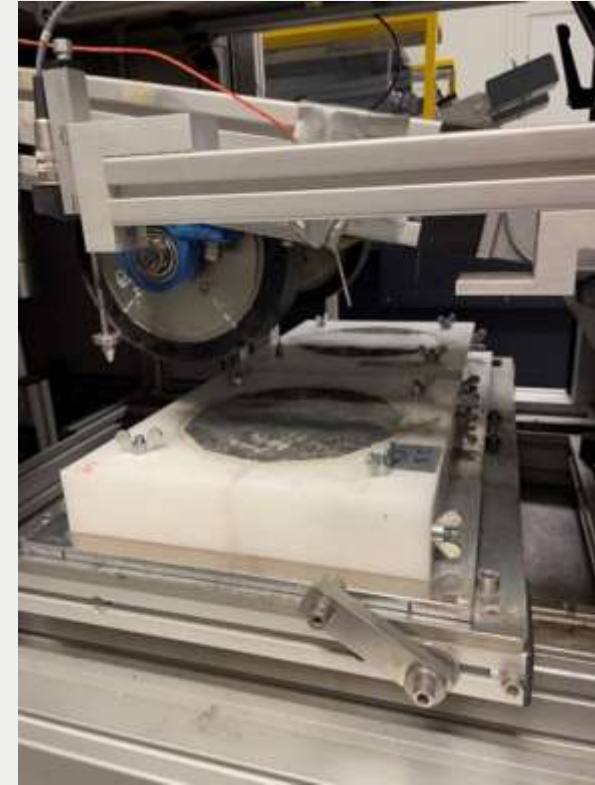
V_p : er volumet til pyknometeret, når det fylles til referansepunktet (m^3)

ρ_w er vannets densitet til nærmeste $0,0001 \text{ Mg/m}^3$.

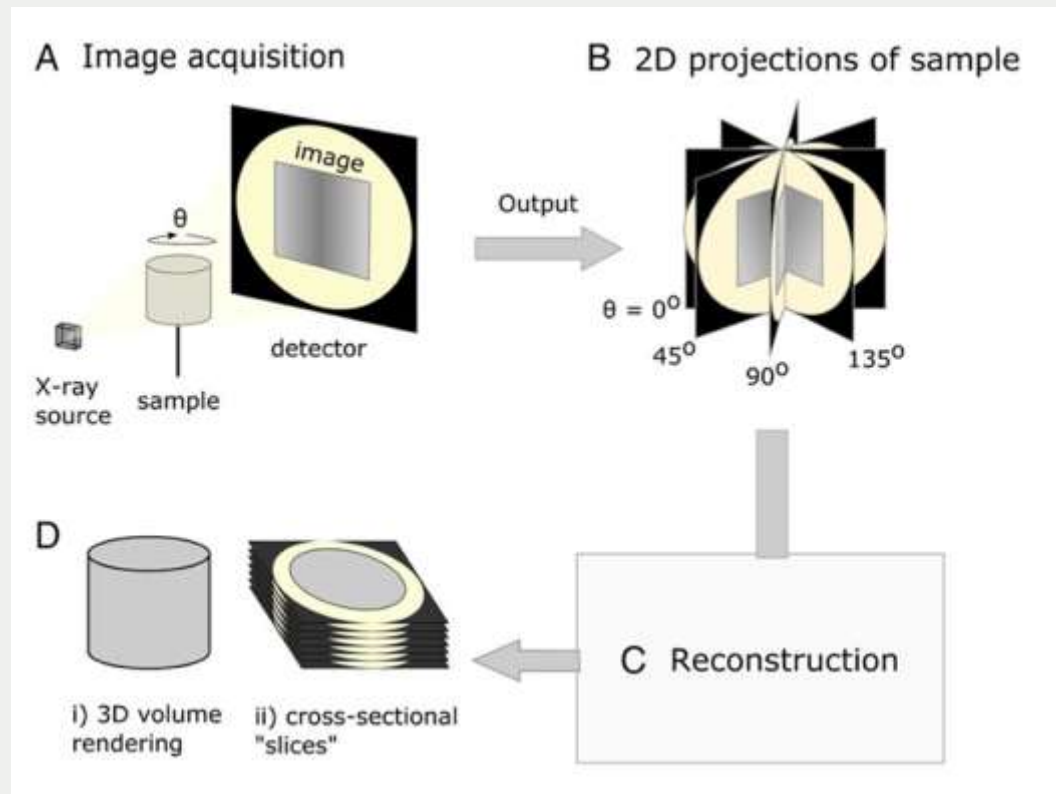
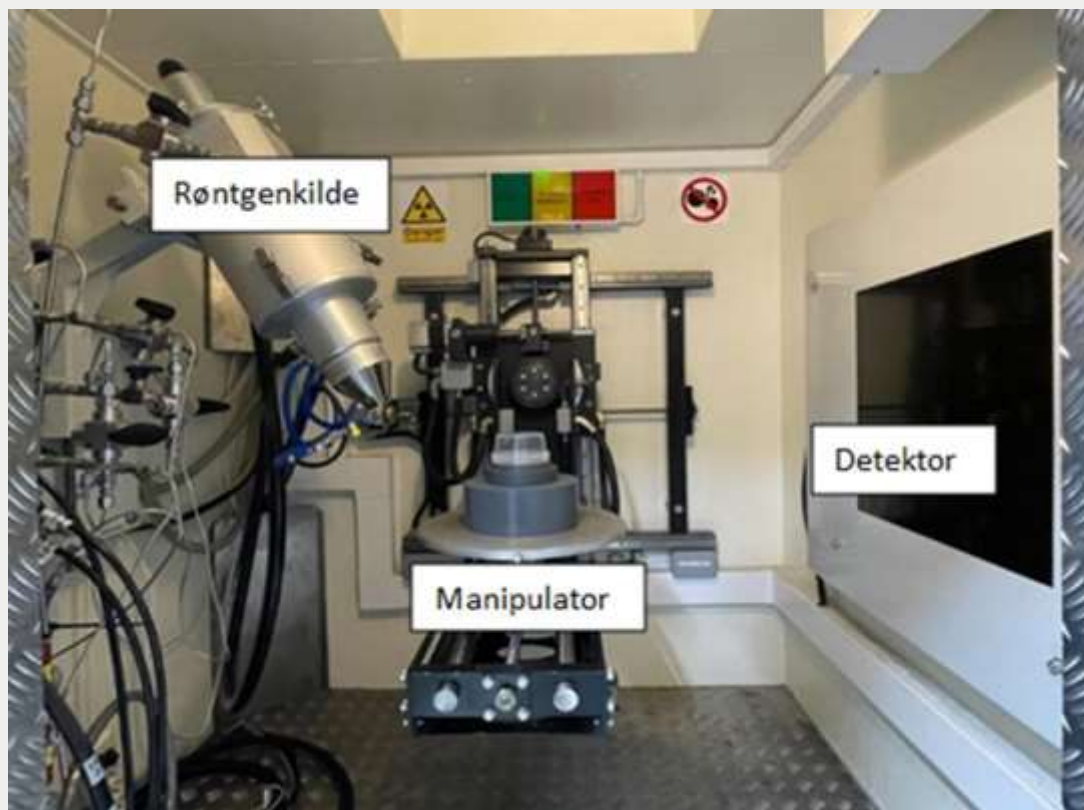


Wheel track

- Motstandsevne mot permanente deformasjoner
- Utsetter prøven for gjentatte belastninger ved hjelp av et hjul



Laboratorieundersøkelser



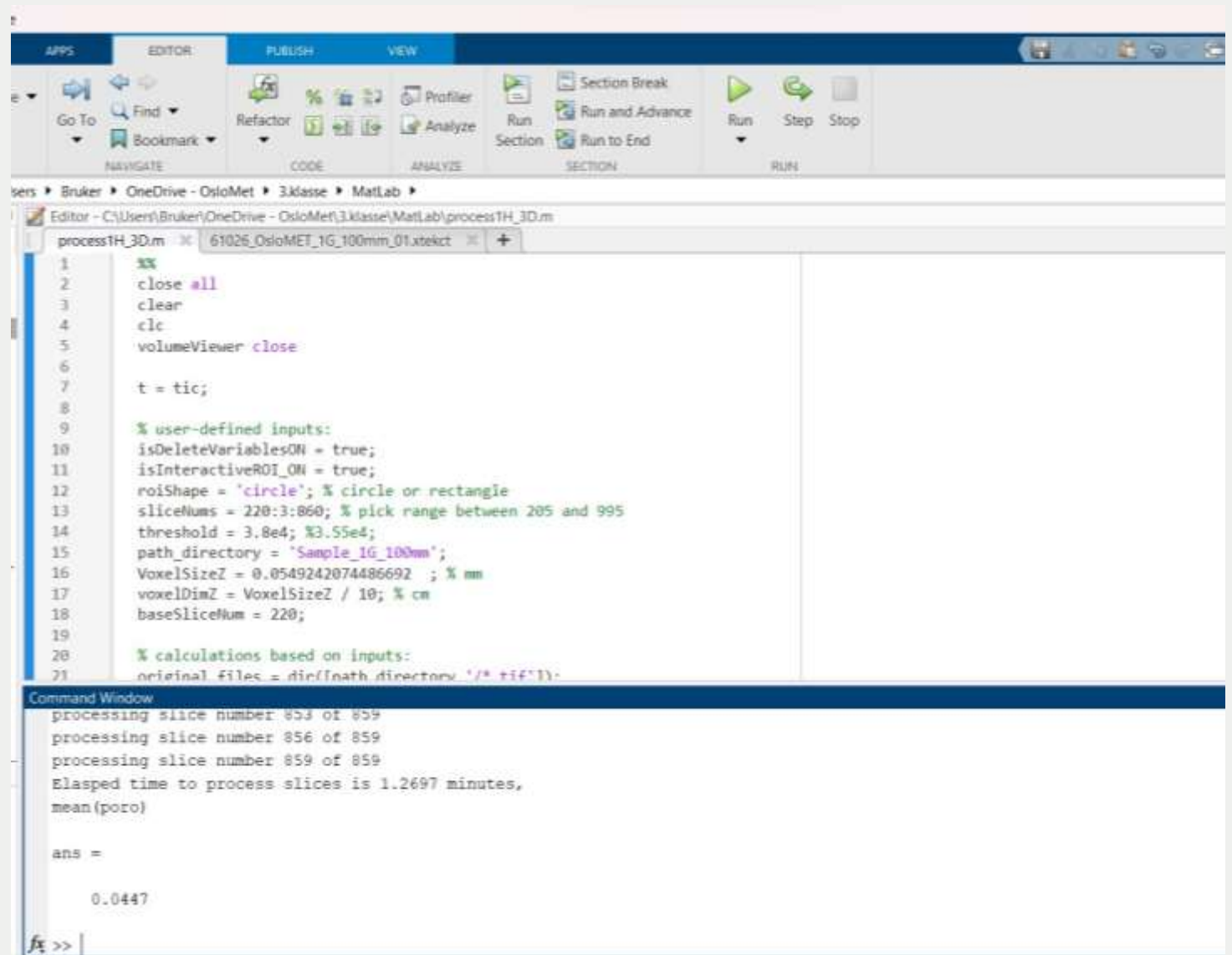
Oppsummering av mikro-ct skanning revidert hentet fra [1]

Steg 3: CT-skanning

- Mikro-CT skanning skaper tverrsnittbilder som benyttes for å danne tredimensjonale bilder av små prøver med høy oppløsning.
- Observering av innvendig mikrostruktur i asfaltprøver for å se på fordeling av aggregat, bindemiddel og hulrom.
- Utstyret består av tre hovedkomponenter: Røntgenkilde, manipulator og detektor.

Steg 4: MATLAB

- Brukt for prosessering av tverrsnittbilder fra CT-skanning for å generere 3D visninger
- Beregner hulromprosent med bildesegmentering



```
process1H_3D.m
1 %%
2 close all
3 clear
4 clc
5 volumeViewer close
6
7 t = tic;
8
9 % user-defined inputs:
10 isDeleteVariablesON = true;
11 isInteractiveROI_ON = true;
12 roiShape = 'circle'; % circle or rectangle
13 sliceNums = 220:3:860; % pick range between 205 and 995
14 threshold = 3.8e4; %3.55e4;
15 path_directory = 'Sample_1G_100mm';
16 VoxelSizeZ = 0.0549242074486692 ; % mm
17 voxelDimZ = VoxelSizeZ / 10; % cm
18 baseSliceNum = 220;
19
20 % calculations based on inputs:
21 original_files = dir([path_directory '/' + tif']);

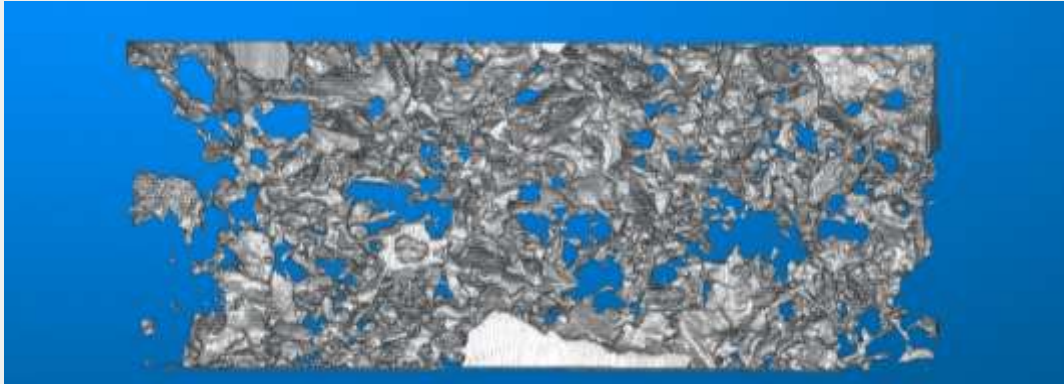
Command Window
processing slice number 853 of 859
processing slice number 856 of 859
processing slice number 859 of 859
Elapsed time to process slices is 1.2697 minutes,
mean(poco)

ans =

    0.0447

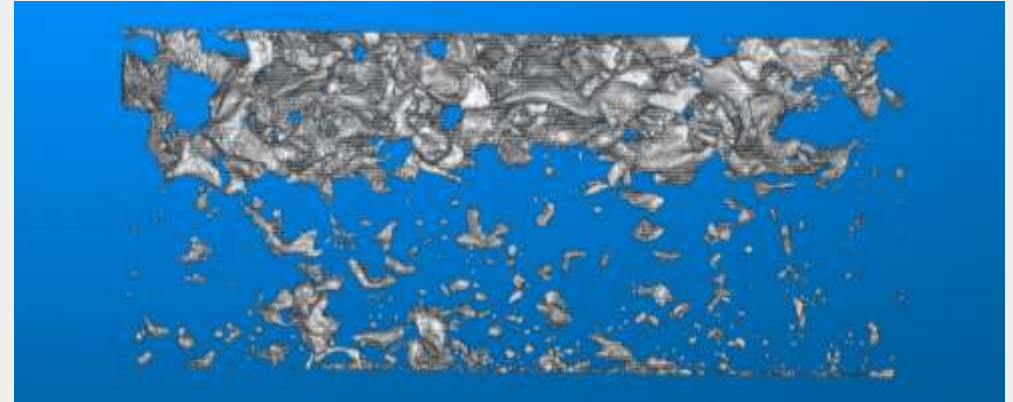
fx >>
```

G-serien



- Gjennomgående hulrom
- Dårlig komprimeringsarbeid

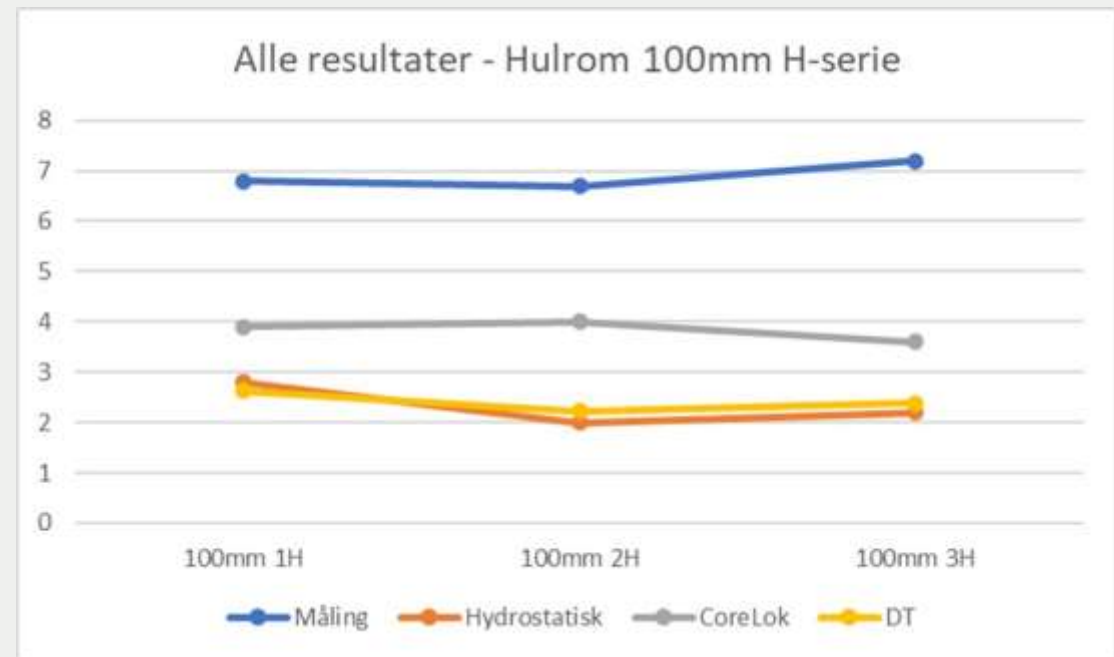
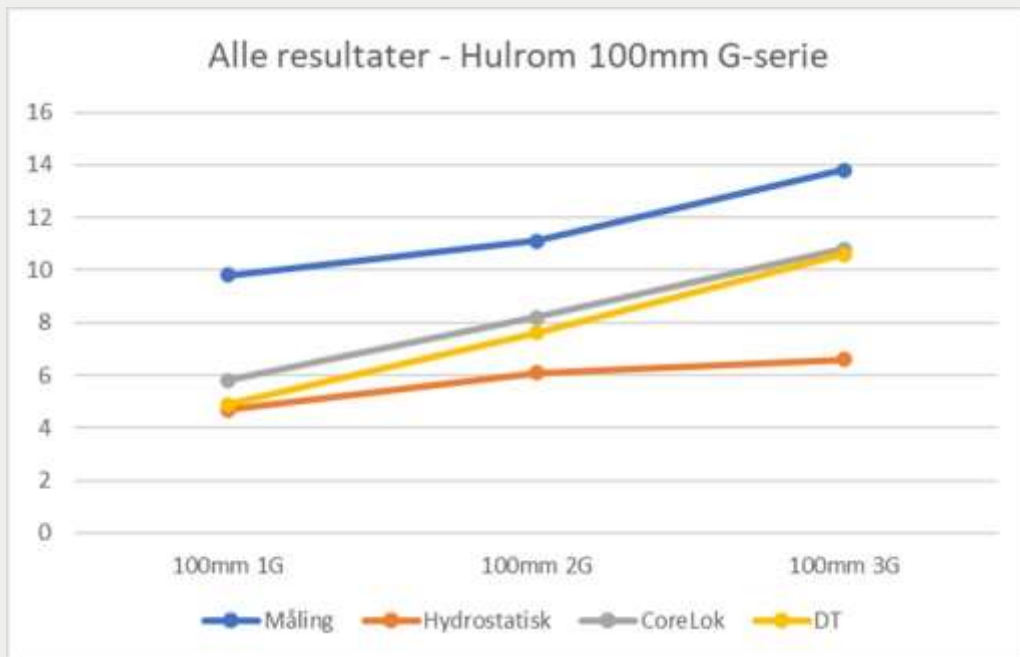
H-serien



- Hulrom i toppen
- Godt komprimeringsarbeid

Resultater

3D-visninger

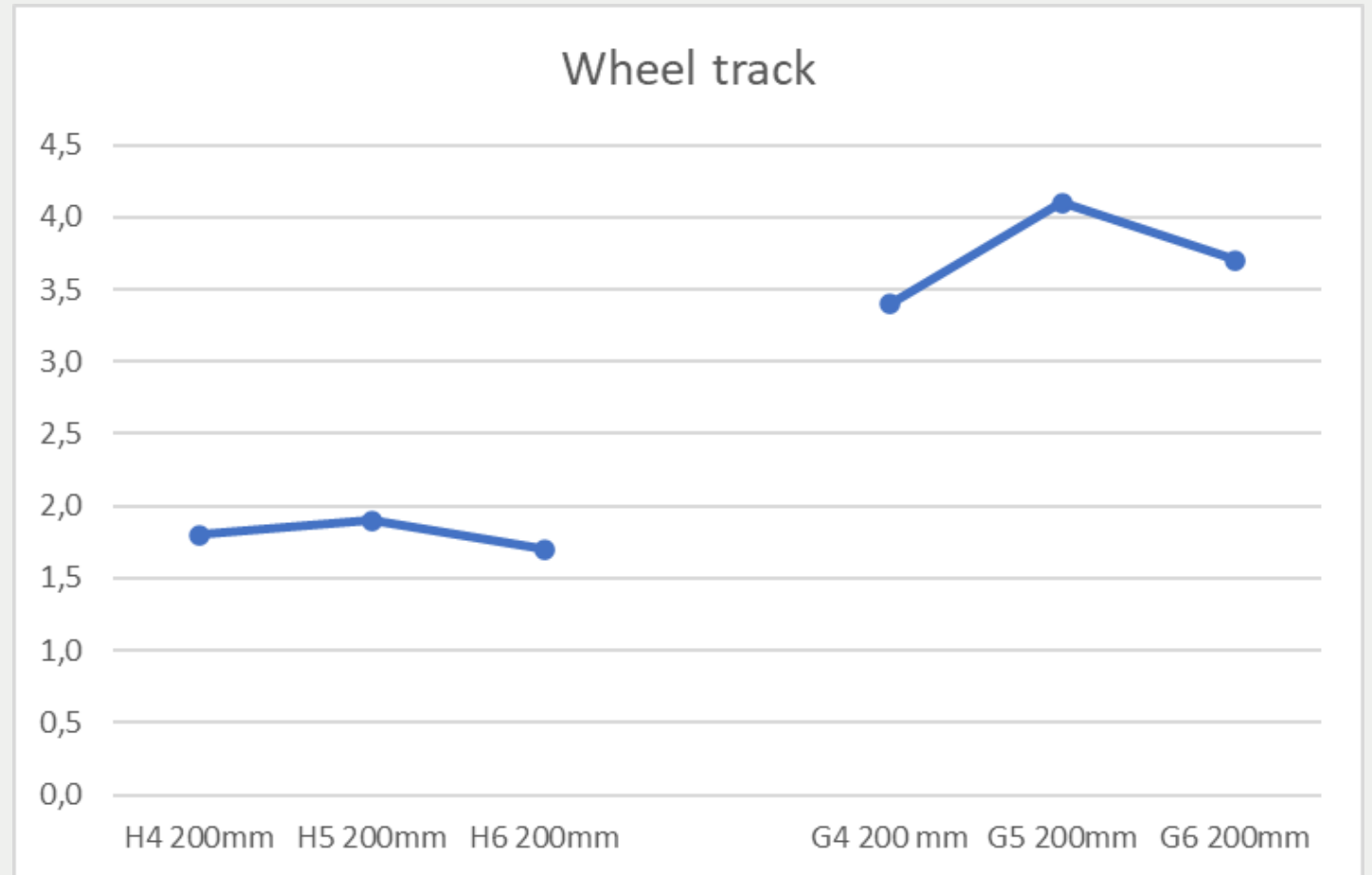


Resultater

- Resultatene fra laboratorieundersøkelsene var som forventet
- Måling med skyvelære er en streng metode

Resultater

- Wheel track – alt under 5% PRD er akseptabelt
- PRD: relativ spordybde av prøvens tykkelse etter 10.000 runder med hjulet
- Bedre enn forventet for G-serien
- Ska har gode sliteegenskaper
- Antar en steinstruktur med mye stein mot stein som bidrar til god styrke



Konklusjon

Fordeler med digitale tvillinger:

1. Visualisering av innvendig mikrostruktur i asfaltprøver
2. Nøyaktig resultat på hulromberegninger
3. Fungerer for hele skalaen (ingen begrensninger på hulromprosent i prøven)

Videre arbeid

- Undersøke steinstruktur
- Bruke andre skanningsmetoder pga. begrensninger til utstyret i denne oppgaven for å skanne større prøver.

Kilder

J. D. B. O'Sullivan *et al.*, "X-ray micro-computed tomography (μ ct): An emerging opportunity in parasite imaging," *Parasitology*, vol. 145, nr. 7, s. 848-854. [Online].

Hentet fra doi: [10.1017/S0031182017002074](https://doi.org/10.1017/S0031182017002074).