
Ph.D. prosjekt:

**Innovative stabiliseringsmetoder
for svak pukkk**

29 november 2018
NADim Seminar, Oslo



Diego Maria Barbieri,

Ph.D. stipendiat

diego.barbieri@ntnu.no

diegomb271@gmail.com

PRESENTASJON OVERSIKT

i. Motivasjon for Ph.D. prosjekt

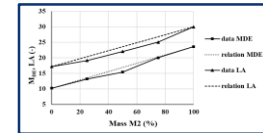
ii. Ubundne Granulære Materialer (UGMs)

iii. UGMs: tester i laboratorium

iv. UGMs: modellering

v. UGMs: tester i felt

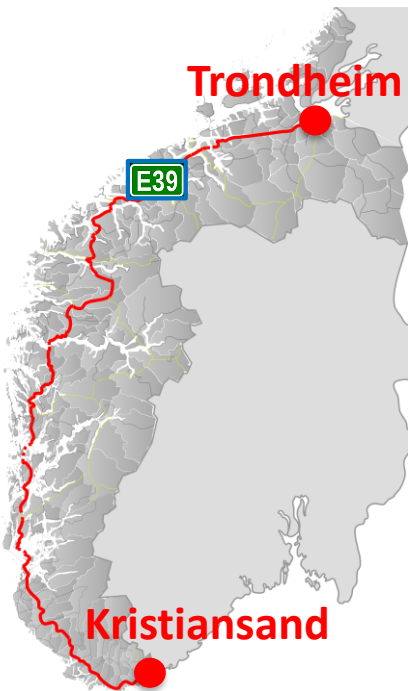
Konklusjoner og funn



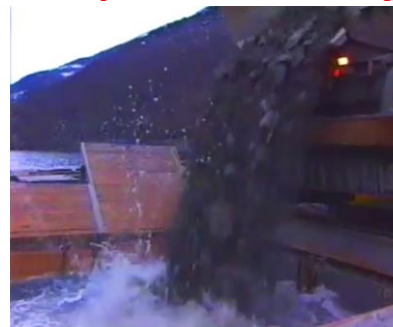
MOTIVASJON FOR Ph.D.

1. Tunnelsystemet til E39 produserer et overskudd av sprengt fjell.

“FERJEFRI E39”

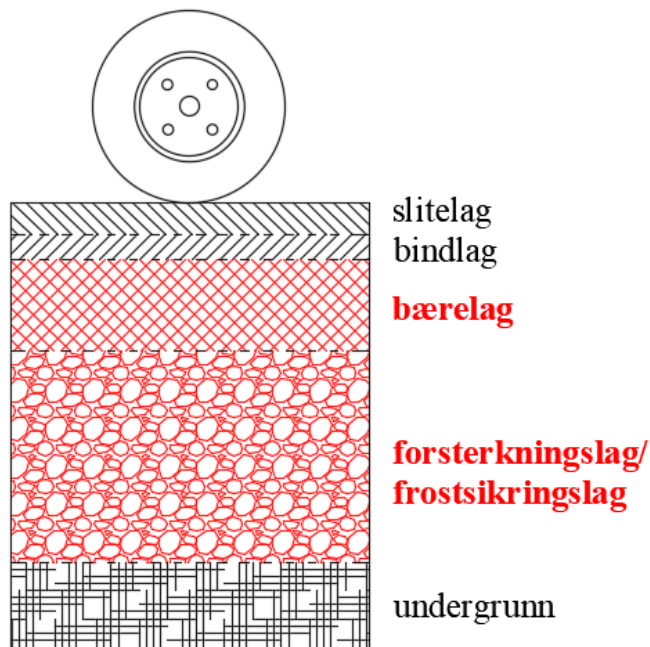


➤ **Har vi bedre løsninger enn å dumpe materiale i fjordene?**



MOTIVASJON FOR Ph.D.

1. Tunnelsystemet til E39 produserer et **overskudd** av sprengt fjell.
2. Å bruke de **sprengte bergartene** i de **ubundne lagene** av motorveien (og veier).



Håndbok N200 (både i 2014 og 2018)
stiller **krav** til materialene i lagene.



Grenseverdier til bærelag

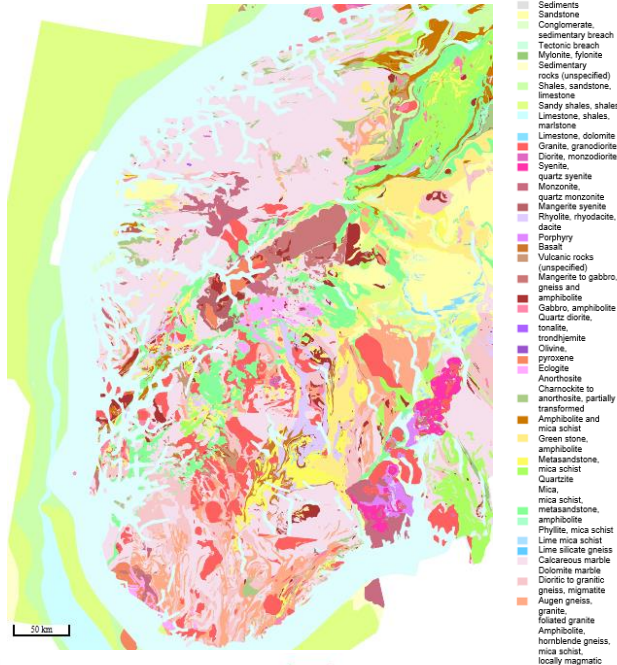
flisighetsindeks	
FI	35
Los Angeles-verdi	
LA	30
Micro Deval-verdi	
M_{DE}	15

Grenseverdier til forsterkningslag

Los Angeles-verdi	
LA	35
Micro Deval-verdi	
M_{DE}	15 (20 _{HB2018})

MOTIVASJON FOR Ph.D.

1. Tunnelsystemet til E39 produserer et overskudd av sprengt fjell.
2. Å bruke de sprengte bergartene i de ubundne lagene av motorveien (og veier).
3. **Geologien i nærheten av E39-traseen.**



Sediments
Sandstone
Conglomerate
sedimentary breachi
Tectonic breachi
Mylonite, fyllonite
Sedimentary rocks (unspecified)
Shales, sandstone, limestone
Sandy shales, shales
Limestone, shales, marlstone
Limestone, dolomite
Granite, granodiorite
Diorite, monzodiorite
Syenite, quartz syenite
Monzonite, quartz monzonite
Mangente syenite
Rhyolite, rhyodacite, dacite
Porfyrir
Basalt
Vulcanic rocks (unspecified)
Mangente to gabbro, gneiss and amphibolite
Gabbro, amphibolite
Quartz diorite, tonalite, trondhjemite
Olivine, pyroxene
Eclogite
Anorthosite
Charnockite to anorthosite, partially transform
Amphibolite and mica schist
Green stone, amphibolite
Metasandstone, mica schist
Quartzite
Mica, mica schist, metasandstone, amphibolite
Phyllite, mica schist
Lime mica schist
Lime silicate gneiss
Calcareous marble
Dolomite marble
Dioritic to granitic gneiss, migmatite
Augen gneiss, granite, foliated granite
Amphibolite, hornblende gneiss, mica schist, locally magmatic

- **hovedsakelig: eruptive bergarter (rosa)**
granitt og granodioritt, granittisk og diorittisk gneis
- **det finnes også noen områder: eruptive og metamorfe bergarter (brun, grå)**
gabbro, øyegneis, glimmer

MOTIVASJON FOR Ph.D.

1. Tunnelsystemet til E39 produserer et **overskudd** av sprengt fjell.
 2. Å bruke de **sprengte bergartene** i de **ubundne lagene** av motorveien (og veier).
 3. **Geologien** i nærheten av E39-traseen.
 4. De eruptive “sterke” bergartene pleier å tilfredsstille kravene.
- Hvordan kan vi **bruke** de "svake" bergartene lokalt?

Transportavstanden bør være mindre enn 20 - 30 km for å være **lønnsom**



➤ **bærekraftig og kostnadseffektiv** anvendelse

UBUNDNE GRANULÆRE MATERIALER (UGMs)



TO VIKTIGE MEKANISKE EGENSKAPER

- **stivhet (resilient modul)**

- **deformasjon**

AVHENGIGE AV

- i. **spenningsnivå**
- ii. **vanninnhold**
- iii. **densitet**
- iv. **korngraderingskurve**
- v. **geologi**

Lekarp F, Isacsson U, Dawson A. State of the art. I: resilient response of unbound aggregates. J Transp Eng 2000a;126:66–75.

Lekarp F, Isacsson U, Dawson A. State of the art. II: permanent strain response of unbound aggregates. J Transp Eng 2000b;126:76–83

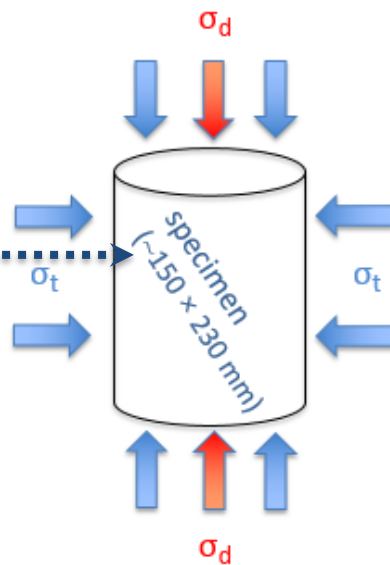
UBUNDNE GRANULÆRE MATERIALER (UGMs)

Treaksialforsøk gir stivhet (M_R) og motstand mot permanente deformasjoner

$$M_R = \frac{\sigma_d^{dyn}}{\epsilon_a^{el}}$$

σ_d^{dyn} deviatorspenning
 ϵ_a^{el} aksial elastisk tøyning

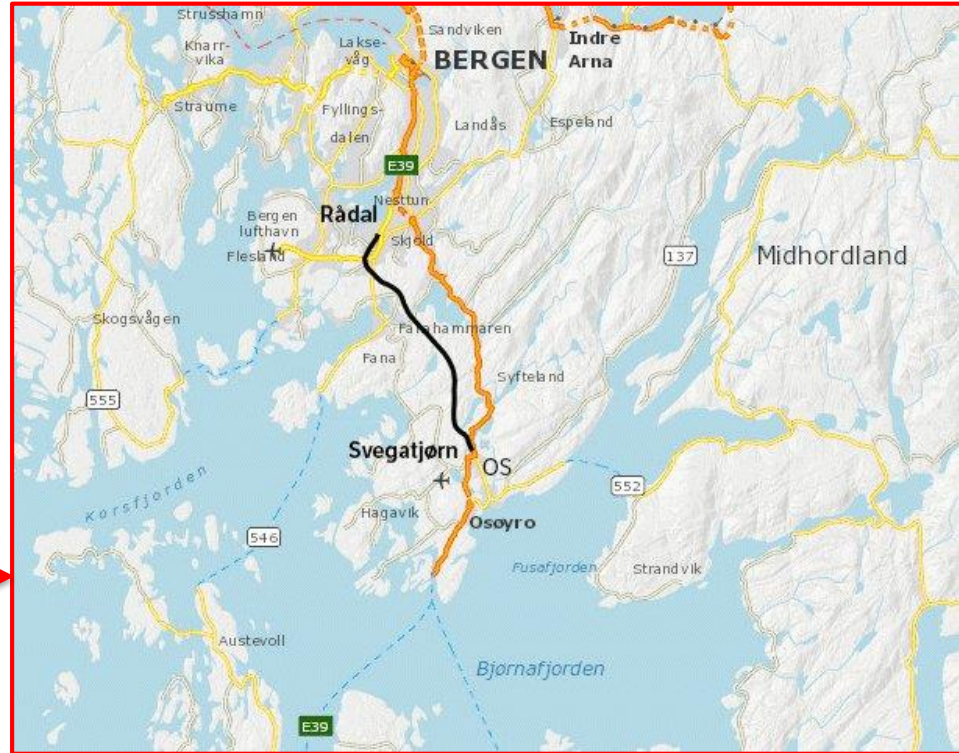
Treaksialforsøk
(RTLT)



- **treaksialt trykk (σ_t)**,
vann under trykk:
konstant
- **deviatorisk trykk (σ_d)**,
hydraulisk jekk:
sinusformet mønster
- **LVDTer**
For å måle deformasjoner

PUKK

fra sprengningsoperasjoner i E39 Svegatjørn-Rådalen (Bergen)



PUKK

fra sprengningsoperasjoner i E39 Svegatjørn-Rådal (Bergen)



materiale M1

*magmatisk eruptiv opprinnelse,
metamorfisert*



materiale M2

*metamorfisk opprinnelse,
finkornet*

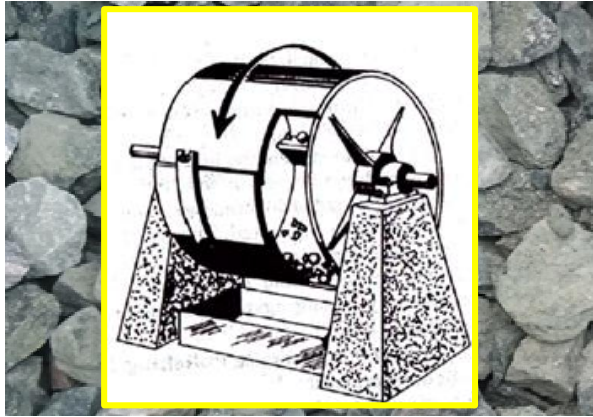


materiale M3

*metamorfisk opprinnelse,
meget finkornet*

PUKK

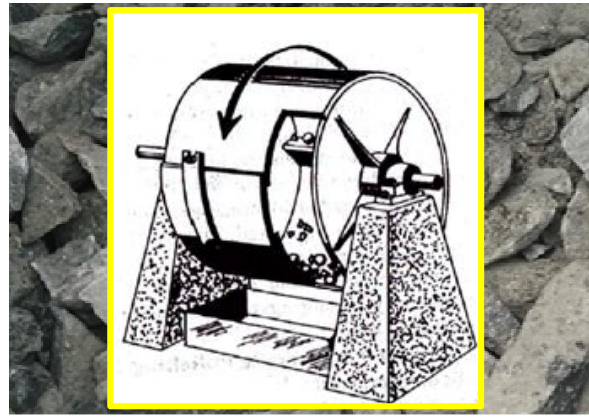
fra sprengningsoperasjoner i E39 Svegatjørn-Rådal (Bergen)



materiale M1

*magmatisk eruptiv opprinnelse,
metamorfisert*

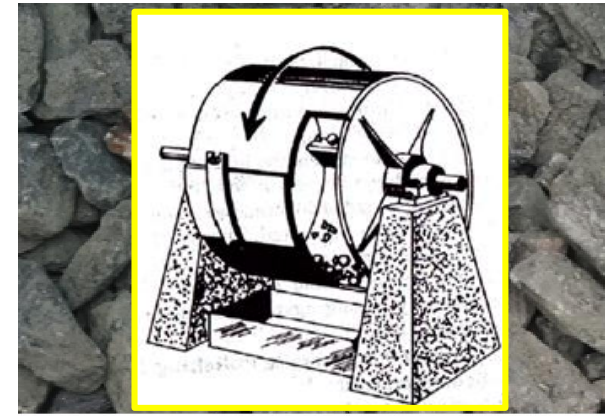
Los Angeles-verdi: 17.2



materiale M2

*metamorfisk opprinnelse,
finkornet*

Los Angeles-verdi: 30.0



materiale M3

*metamorfisk opprinnelse,
meget finkornet*

Los Angeles-verdi: 29.8

PUKK

fra sprengningsoperasjoner i E39 Sveгатjørn-Rådal (Bergen)



materiale M1
*magmatisk eruptiv opprinnelse,
metamorfisert*

Los Angeles-verdi: 17.2
micro-Deval-verdi: 10.2



materiale M2
*metamorfisk opprinnelse,
finkornet*

Los Angeles-verdi: 30.0
micro-Deval-verdi: 23.6



materiale M3
*metamorfisk opprinnelse,
meget finkornet*

Los Angeles-verdi: 29.8
micro-Deval-verdi: 26.3

PUKK

fra sprengningsoperasjoner i E39 Sveгатjørn-Rådal (Bergen)

«sterk» pukk



materiale M1

*magmatisk eruptiv opprinnelse,
metamorfisert*

Los Angeles-verdi: 17.2

micro-Deval-verdi: 10.2

«svak» pukk



materiale M2

*metamorfisk opprinnelse,
finkornet*

Los Angeles-verdi: 30.0

micro-Deval-verdi: 23.6



materiale M3

*metamorfisk opprinnelse,
meget finkornet*

Los Angeles-verdi: 29.8

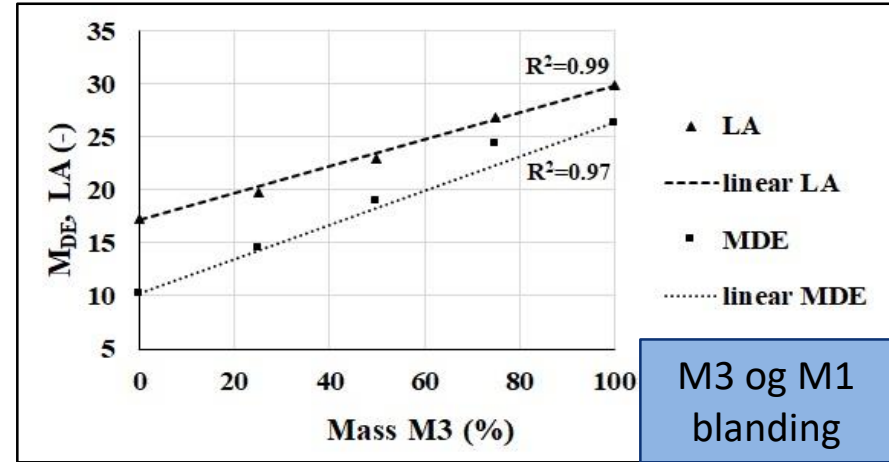
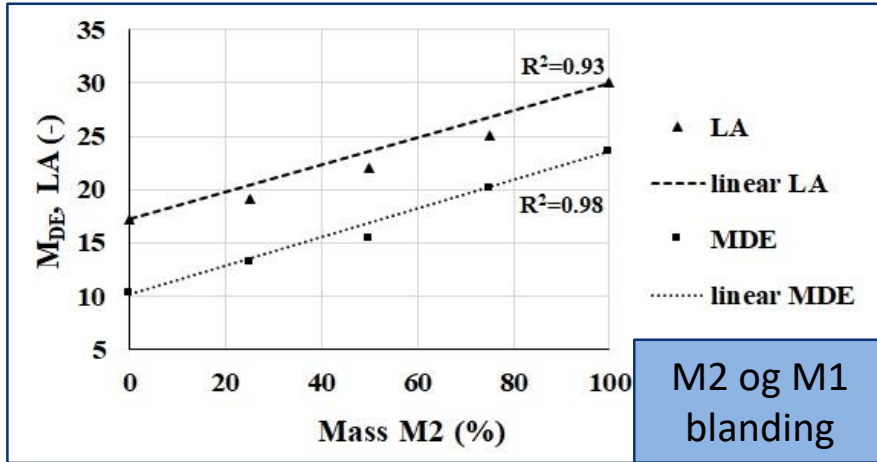
micro-Deval-verdi: 26.3

(HVORDAN) KAN VI OPPNA «BRUKBAR» PUKK?



1. tilnærming

“STERK” OG “SVAK” BLANDING



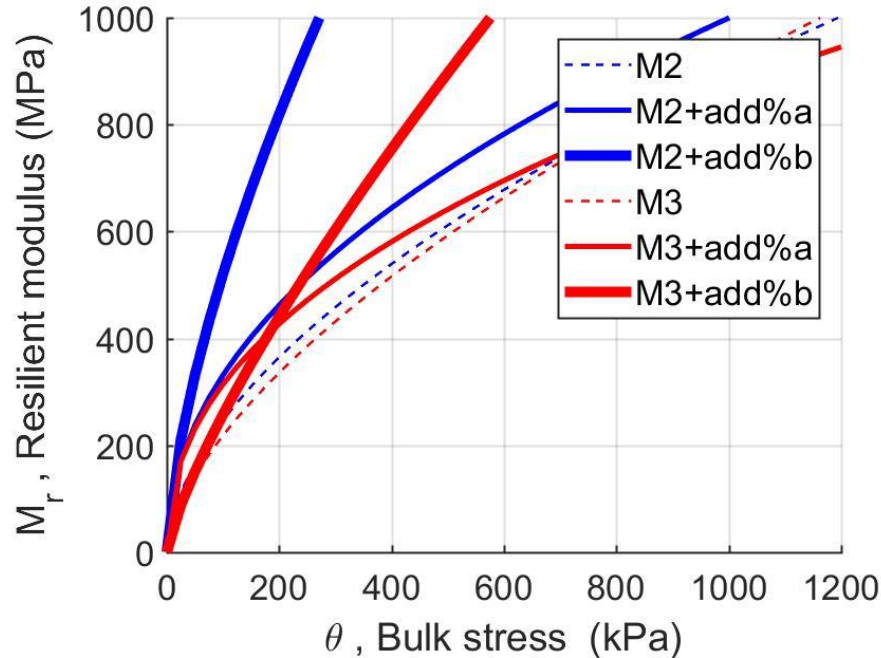
❖ Økningen i micro-Deval og Los Angeles verdier etter en lineær trend

$$M_{DE,i+j} = M_{DE,i} \frac{m_i}{m_i + m_j} + M_{DE,j} \frac{m_j}{m_i + m_j}$$

$$LA_{i+j} = LA_i \frac{m_i}{m_i + m_j} + LA_j \frac{m_j}{m_i + m_j}$$

2. tilnærming

POLYMERBASERT (P) TILSETNINGSSTOFF



Fra treksialforsøk

To forhold har blitt undersøkt

w = 5% (OMC) +

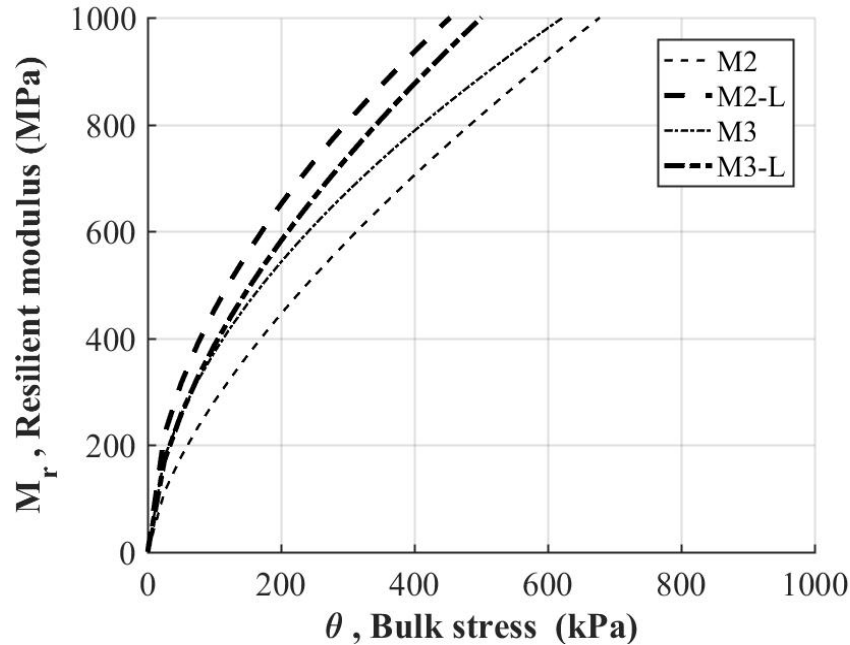
add%a = 2 kg tilsetningsstoff : 100 l vann

add%b = 20 kg tilsetningsstoff : 100 l vann

- ❖ forbedret stivhet
- ❖ bedre komprimering
- ❖ vanntett

3. tilnærming

LIGNINBASERT (L) TILSETNINGSSTOFF



Forhold

1.5 vekt-% med $w = 5\%$ (OMC),
og så la systemet tørke

- ❖ større stivhet
- ❖ bedre komprimering

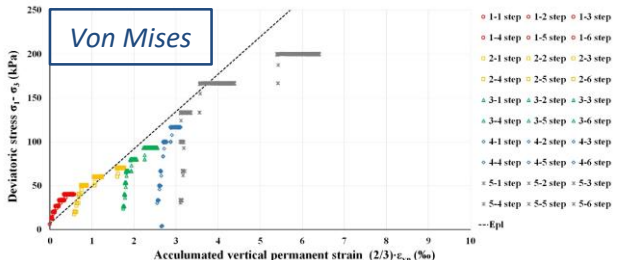
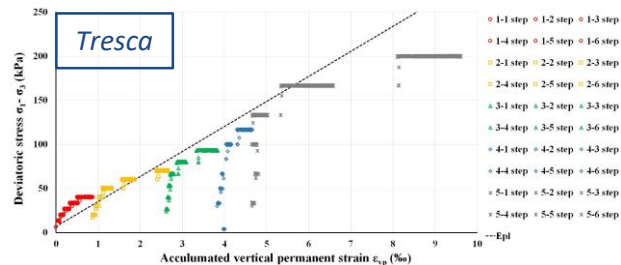
from Repeated Triaxial Load Tests

RTLT MODELLERING

VERTIKALE PERMANENTE DEFORMASJONER

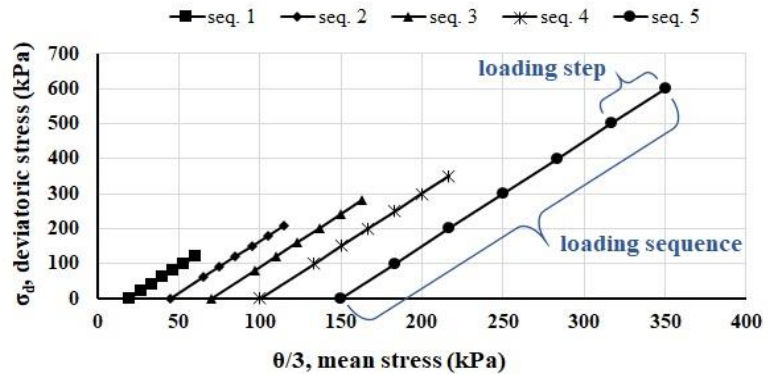
PLASTISITET (Tresca eller Von Mises)

- plastisk spenning = σ_d i hvert lastrinn
- plastisk tangentmodul = bilder nedenfor

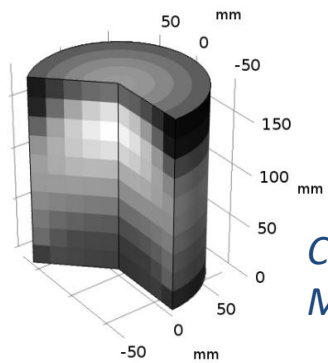


CREEP tidsavhengig analyse (Norton)

$$\dot{\epsilon}_{cr} = A\sigma^n$$



Time=0 s meshvol_spatial



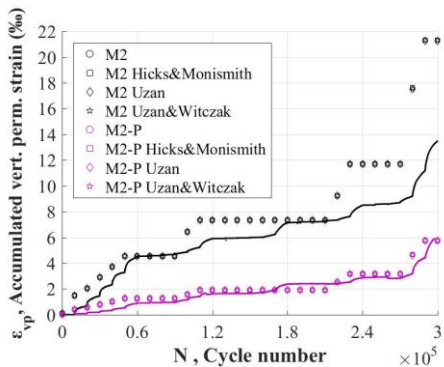
- 180 mm høyde
- 75 mm radius
- 0.3 Poisson's ratio
- M_R er ikke-lineær

COMSOL Multiphysics

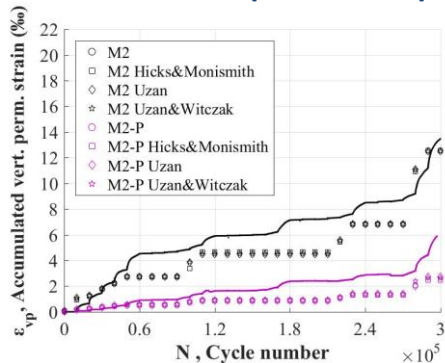
RTLT MODELLERING

VERTIKALE PERMANENTE DEFORMASJONER

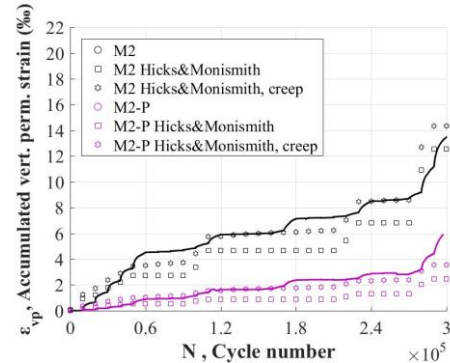
PLASTISITET (Tresca)



PLASTISITET (Von Mises)

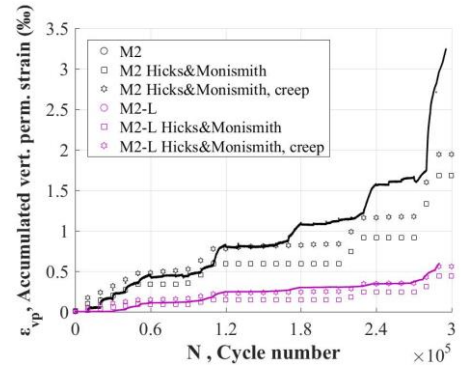
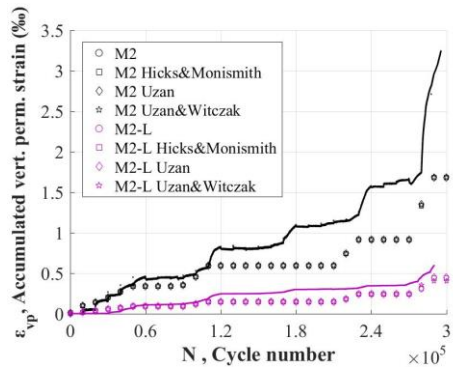
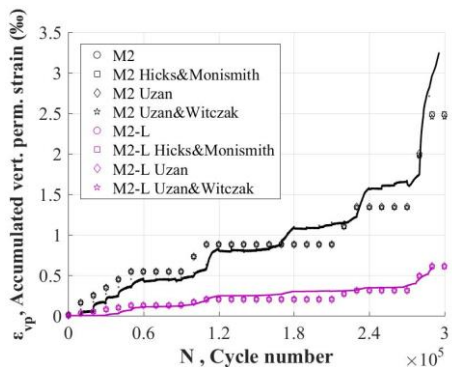


PLASTISITET (Von Mises) + CREEP

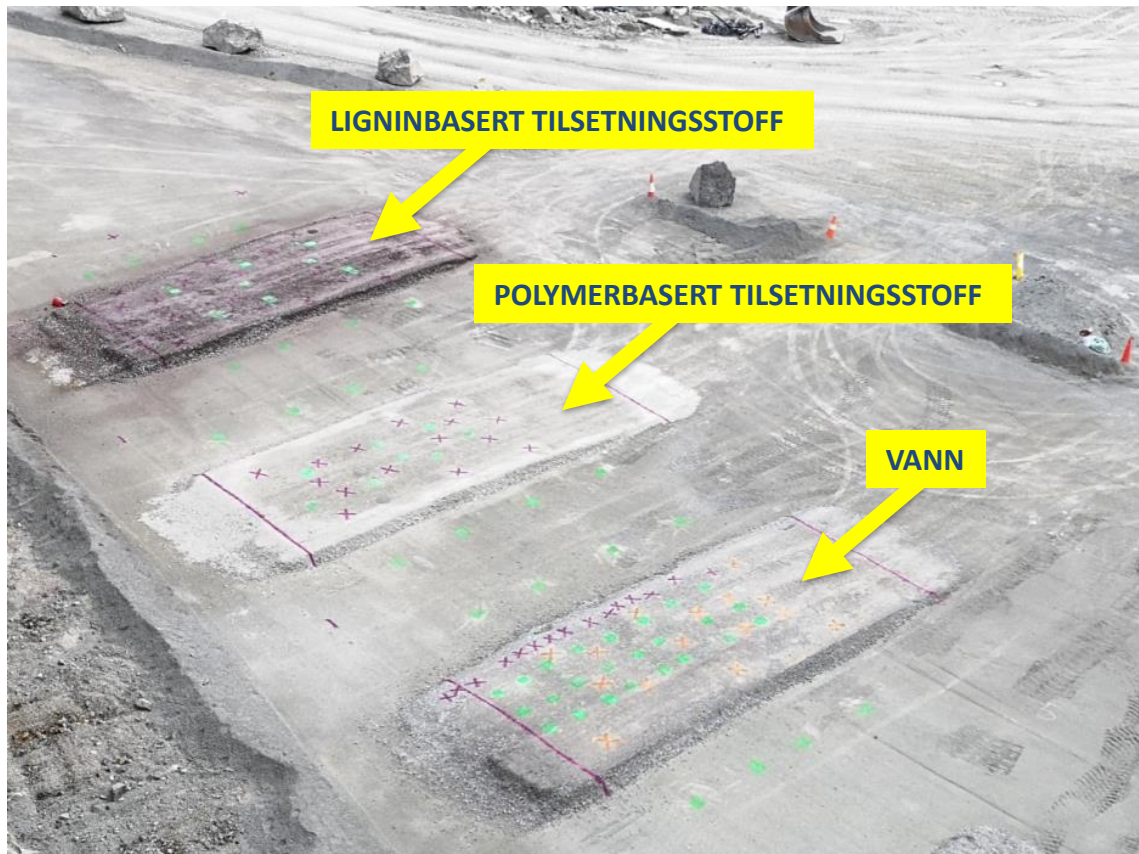


POLYMERBASERT

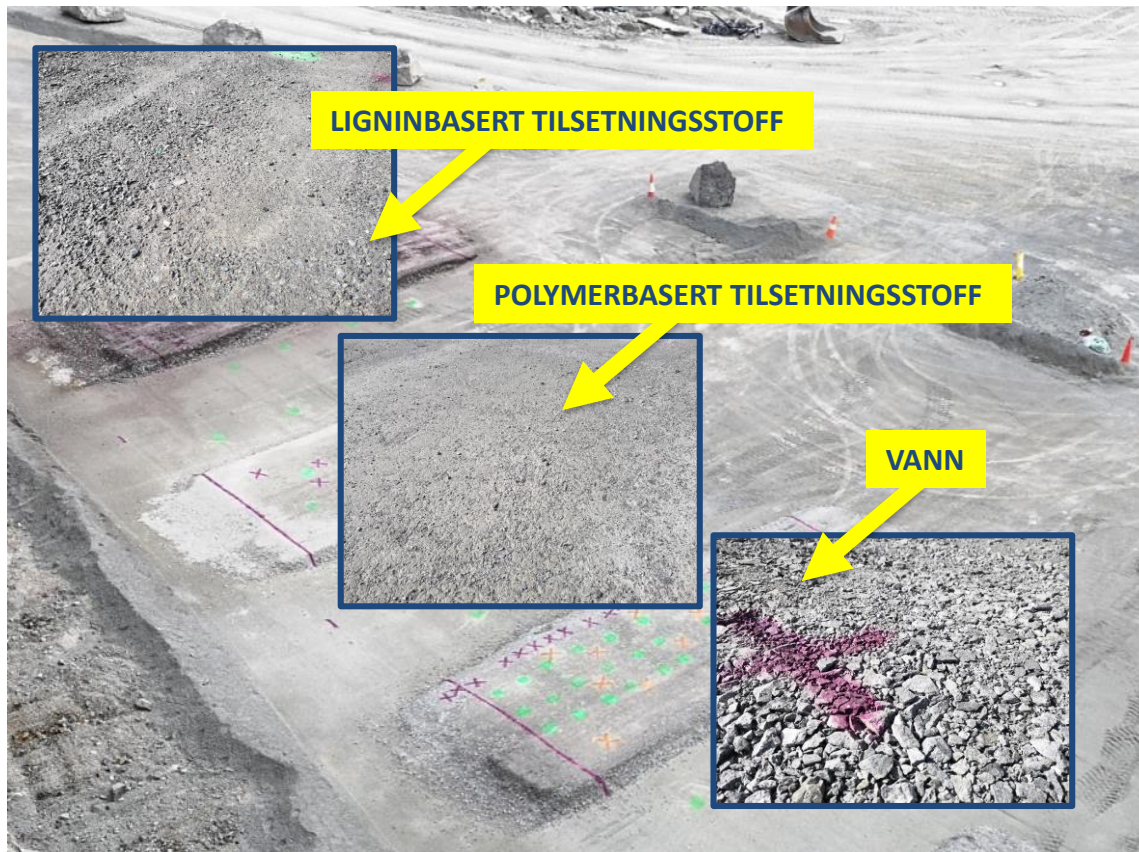
LIGNINBASERT



FELTTEST 30-cm BÆRELAG



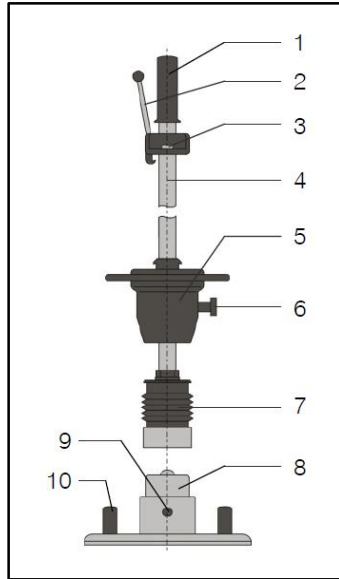
FELTTEST 30-cm BÆRELAG



FELT TEST DAGLIGE MÅLINGER

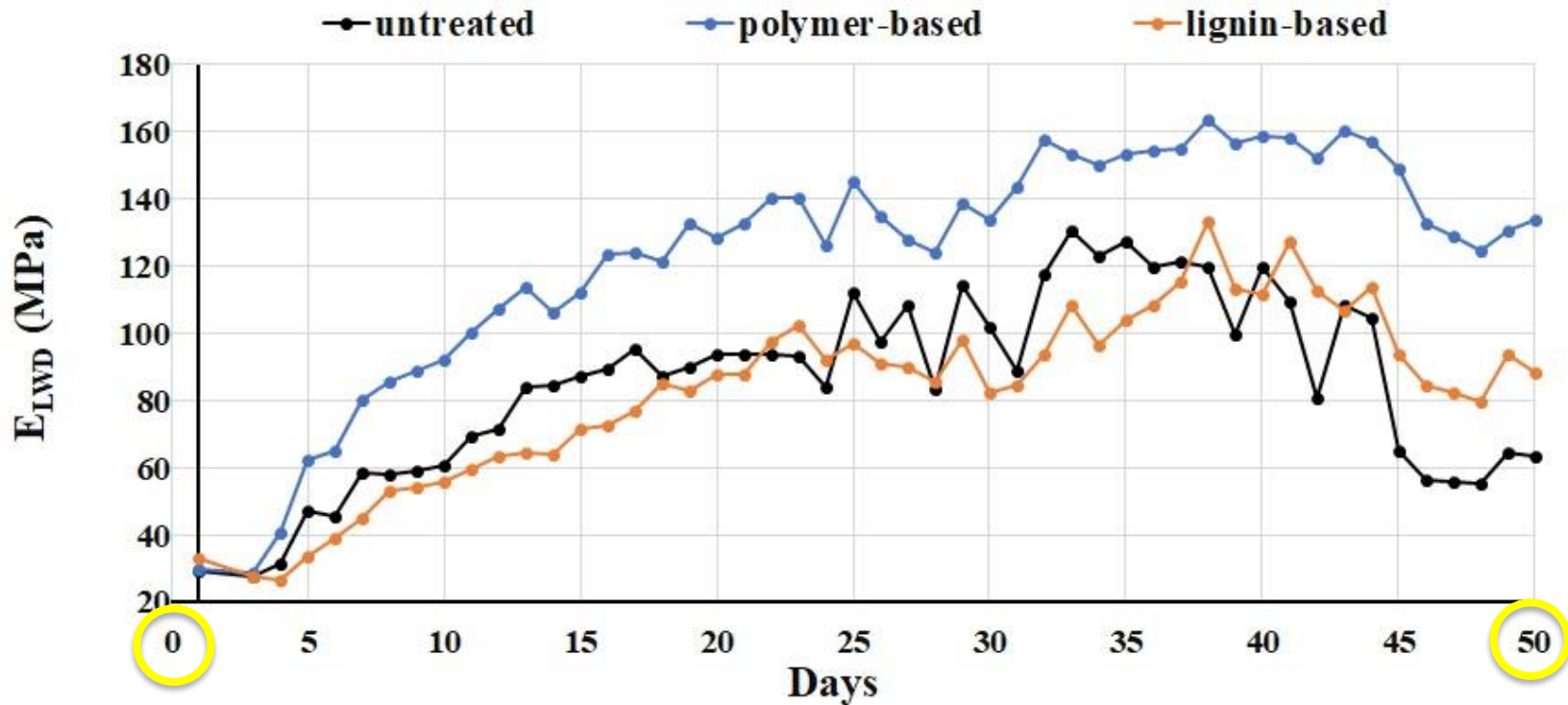
➤ Evaluering av stivhet

Light Weight Deflectometer (LWD)



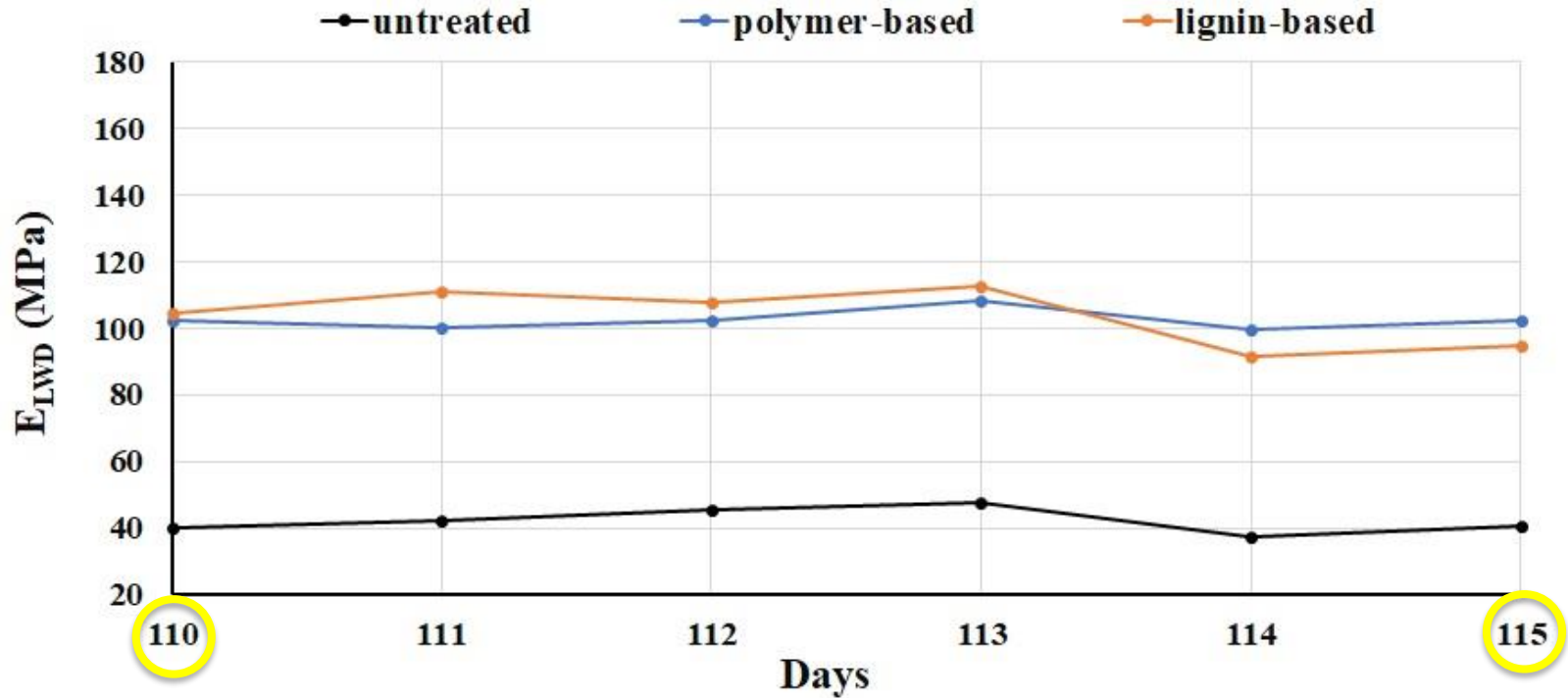
FELTTEST

MODUL E_{LWD}



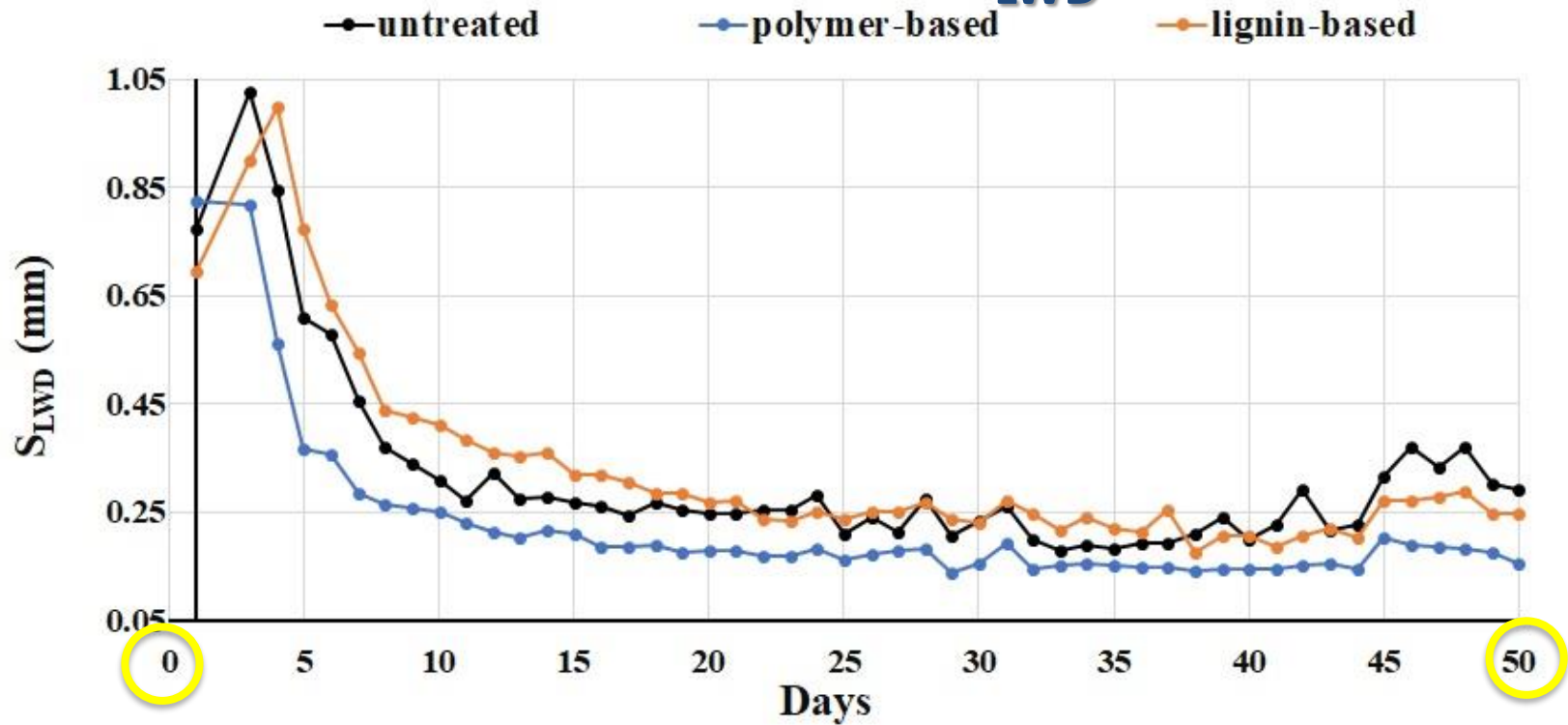
FELTTEST

MODUL E_{LWD}



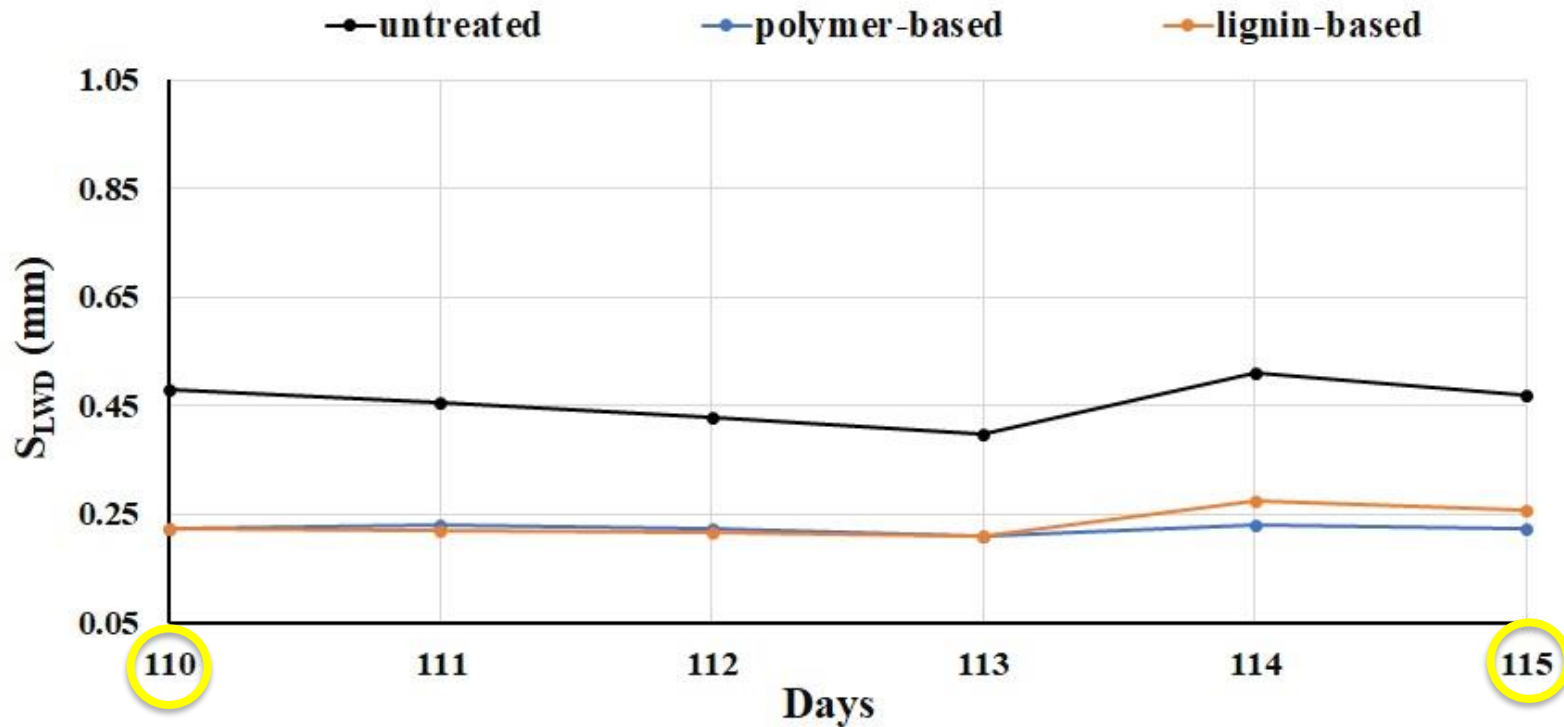
FELTTEST

NEDBØYNING S_{LWD}



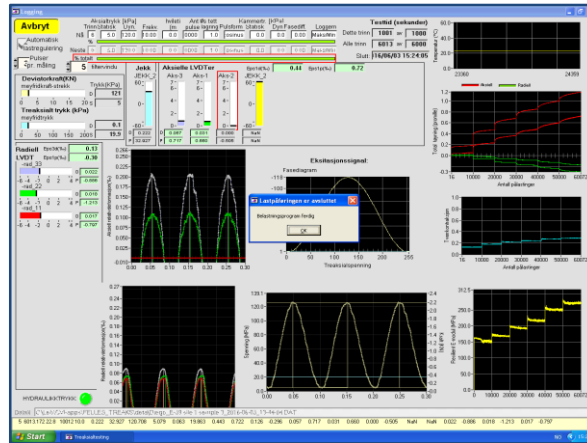
FELTTEST

NEDBØYNING S_{LWD}

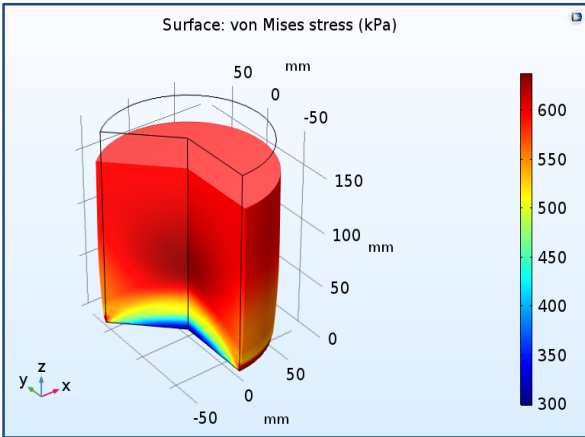


KONKLUSJONER OG FUNN

- ❖ **Bruk av steinmasser lokalt:
økonomiske og miljømessige fordeler**
- ❖ **Bergarter langs motorveitraseen E39 Svegatjørn-Rådal:
noen («sterke») tilfredsstiller krav, noen («svake») gjør ikke det**
- ❖ **Forbedre de mekaniske egenskapene til «svak» pukk:
blanding og bruk av tilsetningsstoffer er effektive løsninger**



Tusen takk for oppmerksomheten!



Ph.D. candidate: Diego M. Barbieri / NTNU
diego.barbieri@ntnu.no

Supervisor: Inge Hoff / NTNU
inge.hoff@ntnu.no

Co-supervisor: Lillian M. Uthus / Veidekke
lillian.uthus.mathisen@veidekke.no

Contact partner: Nils S. Uthus / NPRA
nils.uthus@vegvesen.no

Contact at NAU: Chun-Hsing Ho/NAU
chun-hsing.ho@nau.edu