
Ph.D. Prosjekt:

**Innovative Stabiliseringsmetoder
for Svak Pukk
(2016-2018)**

27 mai 2019

*NVF Vägteknologi Sommarmöte
Køge, Danmark*



Diego M. Barbieri,

Postdoktor

diego.barbieri@ntnu.no

FORNYE "FERJEFRI E39"



norsk økonomi
sterkt knyttet til områdene
langs E39

PRESENTASJON OVERSIKT

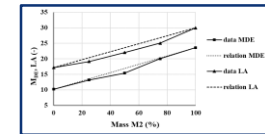
i. Motivasjon og bakgrunn for Ph.D. prosjekt

ii. Ubundne Granulære Materialer (UGMs)

iii. UGMs: tester i laboratorium

iv. UGMs: tester i felt

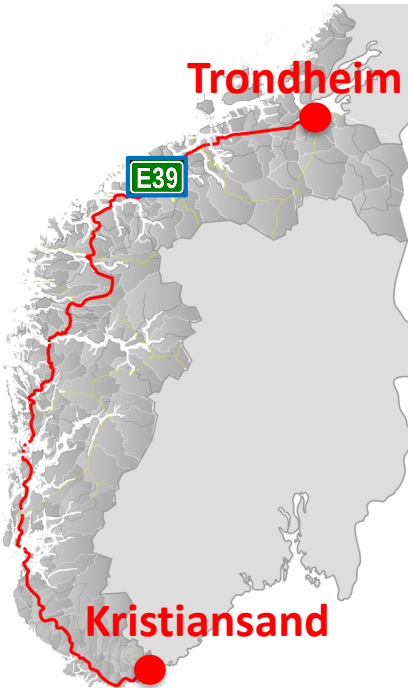
Konklusjoner og funn



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?**



“TRENG DU STEIN?”

Treng du stein?

LYTT TIL TEKSTEN



SKRIV UT

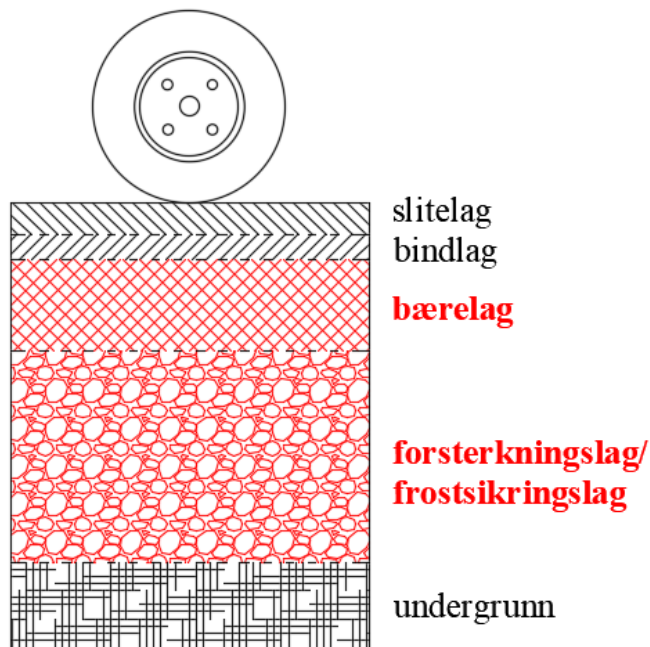
Den nye hovudvegen mellom Os og Bergen er planlagt bygd i perioden 2013–2018. Vegprosjektet får eit masseoverskot frå tunneldriving i 2014 og 2015 på rundt 1 500 000 kubikkmeter. Steinmassane er ein ressurs og eignar seg godt til utfylling.
[05.03.2012]

Statens vegvesen ønskjer kontakt med firma/personar som kan vidareutvikle store mengder stein. For meir informasjon sjå annonsen under:



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

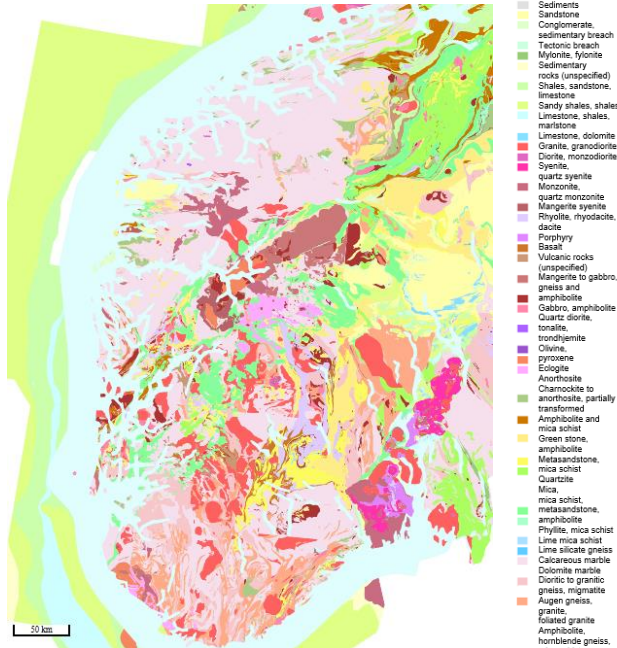
flisighetsindeks	
FI	35
Los Angeles-verdi	
LA	30
Micro Deval-verdi	
M_{DE}	15

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 breach
Tectonic breach
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
Porphyry
Basalt
Volcanic rocks (unspecified)
Mangente to gabbro, gneiss and amphibolite
Gabbro, amphibolite
Quartz diorite, tonalite, trondhjemite
Chlorite, pyroxene
Eclogite
Anorthosite
Charnockite to anorthosite, partially transformed
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**

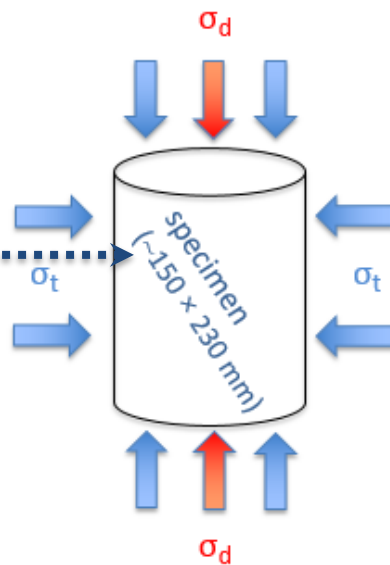
UBUNDNE GRANULÆRE MATERIALER (UGMs)

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
(RLTT)



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

PUKK

fra E39 Svegatjørn-Rådal (Bergen)

Vassfjell (Trondheim)



materiale M1

*magmatisk opprinnelse,
metamorfisert*

materiale M2

*metamorfisk opprinnelse,
finkornet*

materiale M3

*metamorfisk opprinnelse,
meget finkornet*

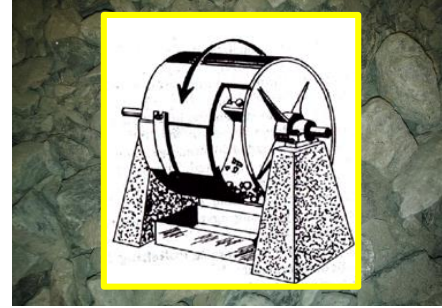
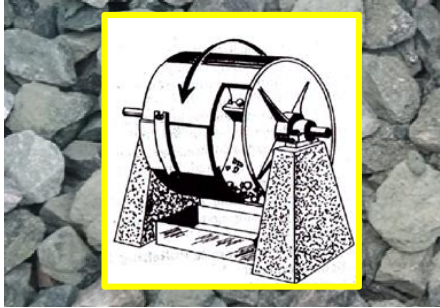
materiale M4

*metamorfisk opprinnelse,
gabbro innhold*

PUKK

fra E39 Svegatjørn-Rådal (Bergen)

Vassfjell (Trondheim)



materiale M1

*magmatisk 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**

materiale M4

*metamorfisk opprinnelse,
gabbro innhold*

Los Angeles-verdi: **18.2**

PUKK

fra E39 Sveгатjørn-Rådal (Bergen)

Vassfjell (Trondheim)



materiale M1

*magmatisk 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

materiale M4

*metamorfisk opprinnelse,
gabbro innhold*

Los Angeles-verdi: 18.2
micro-Deval-verdi: 14.2

PUKK

fra E39 Sveгатjørn-Rådal (Bergen)

Vassfjell (Trondheim)

«sterk» pukk



«svak» pukk



«svak» pukk



«sterk» pukk



materiale M1

*magmatisk 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**

materiale M4

*metamorfisk opprinnelse,
gabbro innhold*

Los Angeles-verdi: **18.2**
micro-Deval-verdi: **14.2**

Los Angeles-verdi

LA 30

Micro Deval-verdi

M_{DE} 15

(HVORDAN) KAN VI FORBEDRE «SVAK» PUKK?



POLYMERBASERT (P) TILSETNINGSSTOFF

vanntett - ikke-utvaskbar - to komponenter

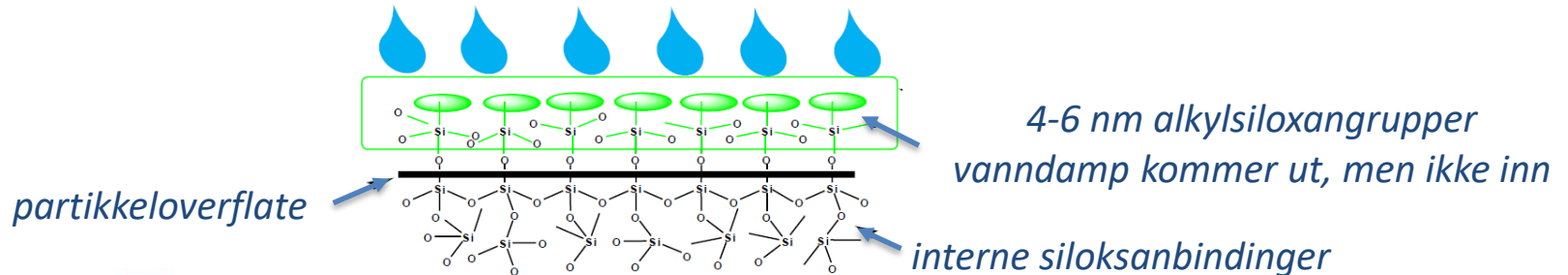


komponent 1

- *akryl-kopolymer-emulsjon (eddiksyre og metanol)*
- *partikkelstørrelse lavere enn 90 nm*

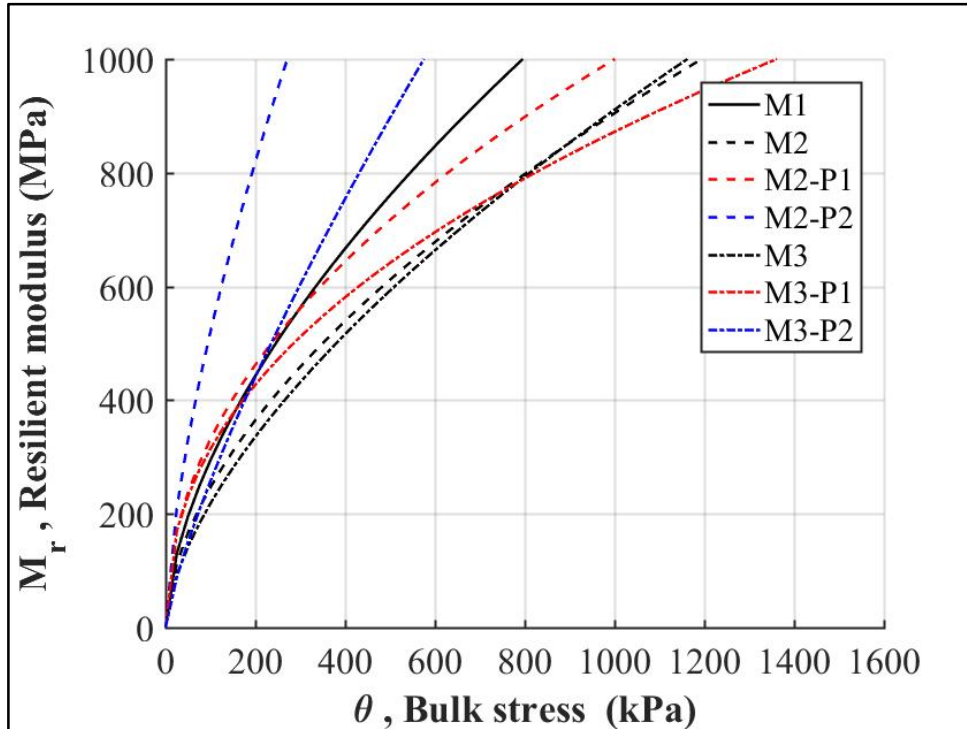
komponent 2

- *polymer dispersjon*
- *silanolgrupper i alkylsiloxangrupper (på pukke overflate, 4-6 nm)*



POLYMERBASERT (P) TILSETNINGSSTOFF

resultater fra treaksialforsøk for M1, M2, M3



- ❖ forbedret stivhet
- ❖ bedre komprimering
- ❖ vanntett

fra E39 Svevatjørn-Rådal (Bergen)

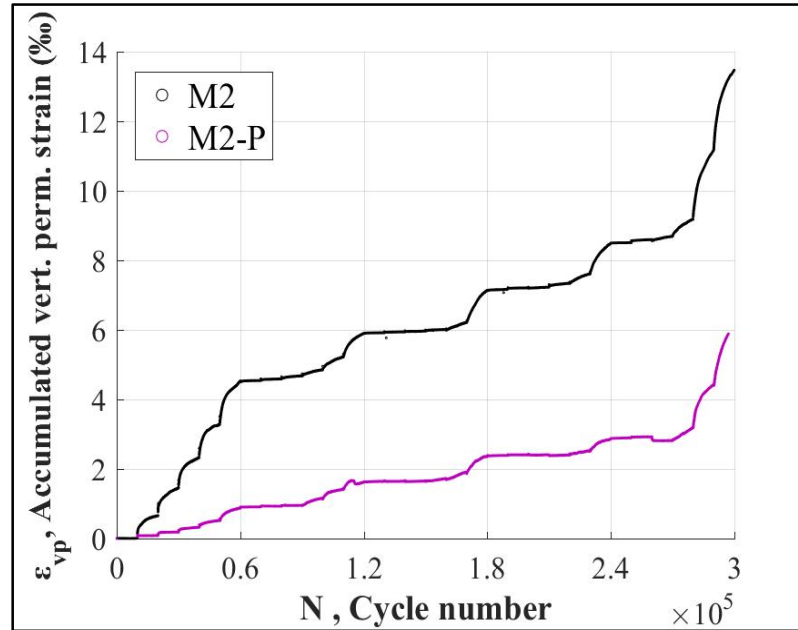
to mengder undersøkt
 $w = 5\%$ (OMC) +

P1 = 2 kgtilsetningsstoff : 100 l vann

P2 = 20 kgtilsetningsstoff : 100 l vann

POLYMERBASERT (P) TILSETNINGSTOFF

resultater fra treksialforsøk for M2



motstand mot permanente deformasjoner

LIGNINBASERT (L) TILSETNINGSSTOFF

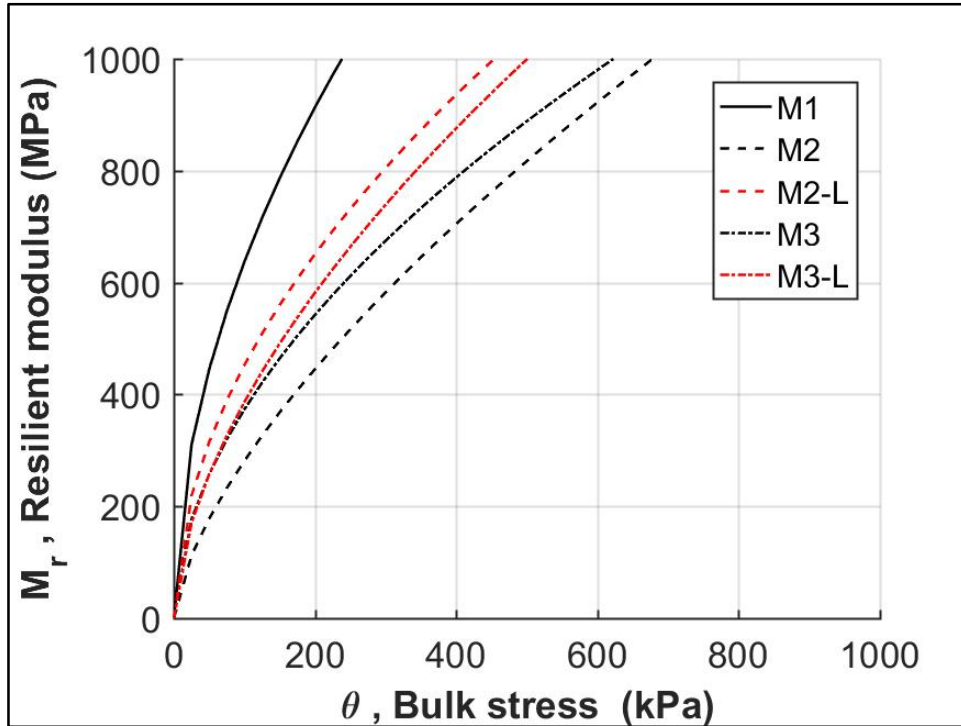


- *“biprodukt” av tømmer- og papirindustrien*
- *giftfri og ikke-korrosiv organisk polymer*

❖ *vannløselig*

LIGNINBASERT (L) TILSETNINGSSTOFF

resultater fra treaksialforsøk for M1, M2, M3



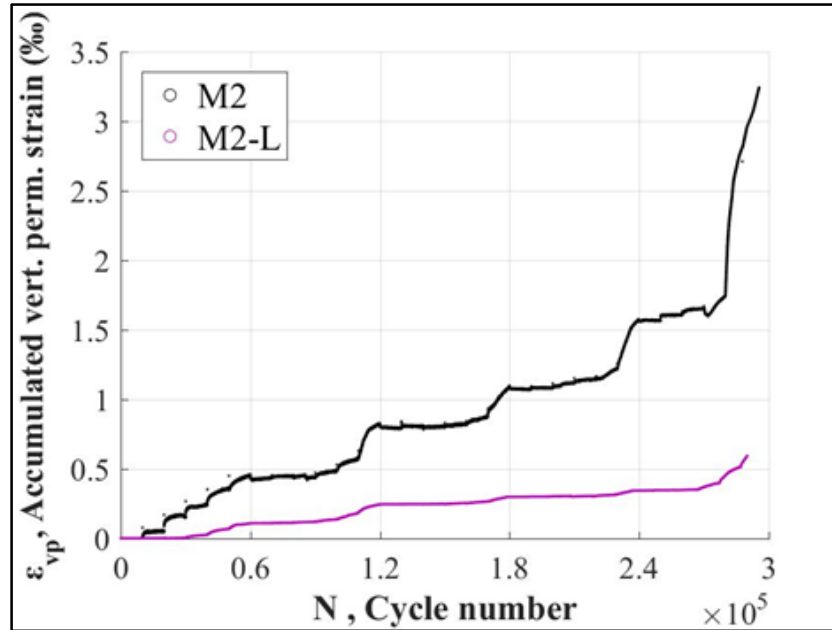
- ❖ større stivhet
- ❖ bedre komprimering

fra E39 Svevatjørn-Rådal (Bergen)

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

LIGNINBASERT (L) TILSETNINGSSTOFF

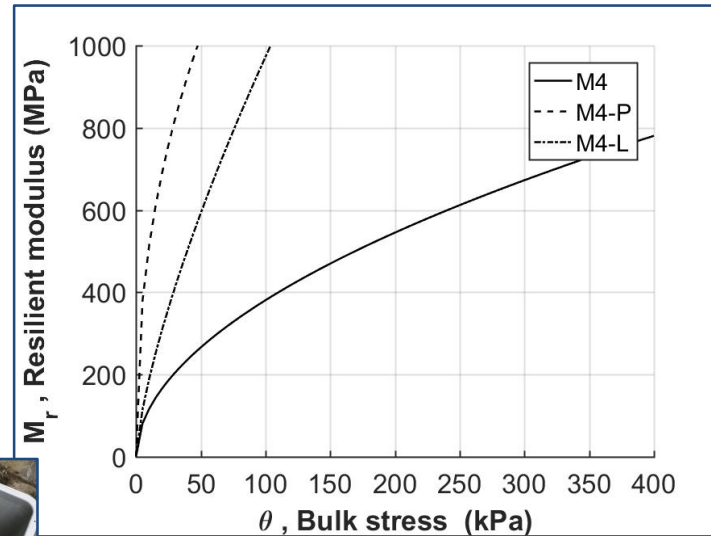
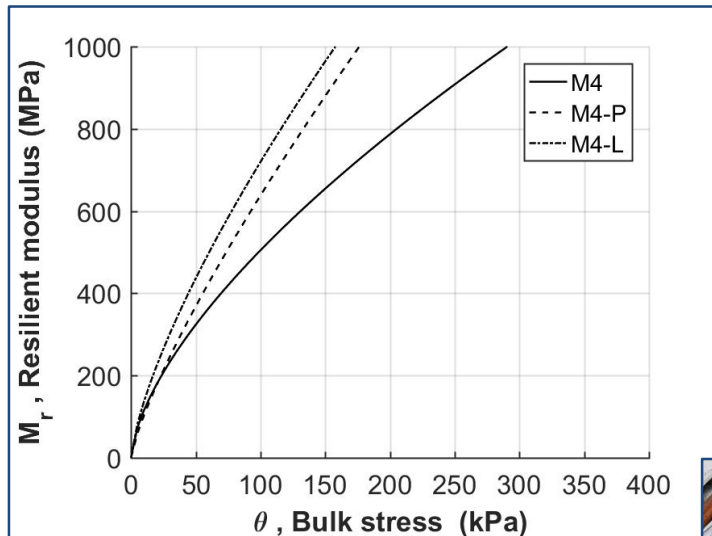
resultater fra treksialforsøk for M2



motstand mot permanente deformasjoner

P-BASERT OG L-BASERT TILSETNINGSSTOFF

resultater fra treaksialforsøk for M4



➤ vår 2018



➤ vår 2019

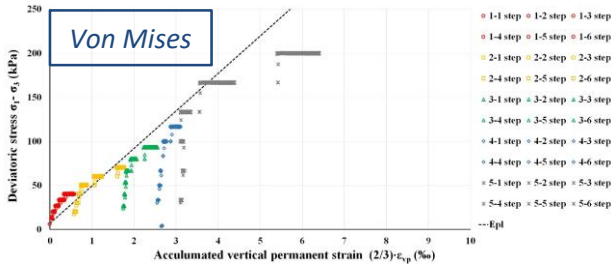
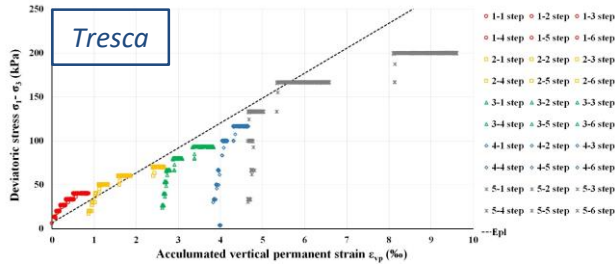
❖ forbedring i stivhet

RLTT MODELLERING

vertikale permanente deformasjoner

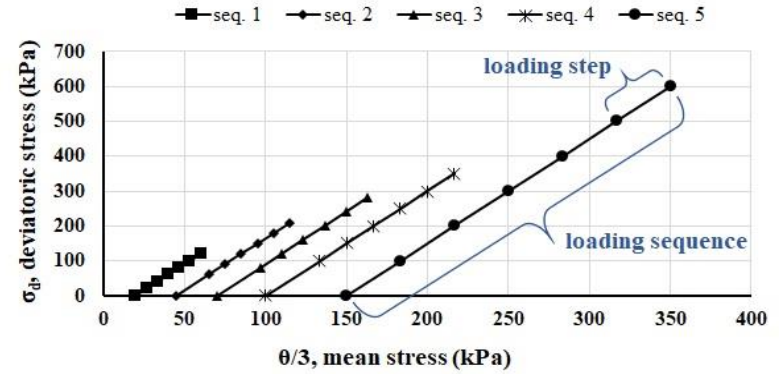
PLASTISITET (Tresca eller Von Mises)

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

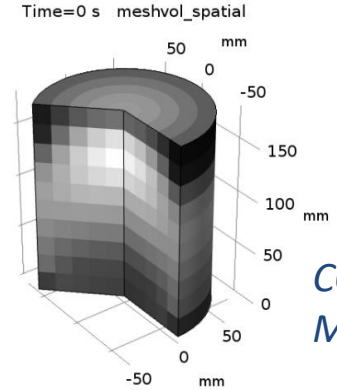


CREEP tidsavhengig analyse (Norton)

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



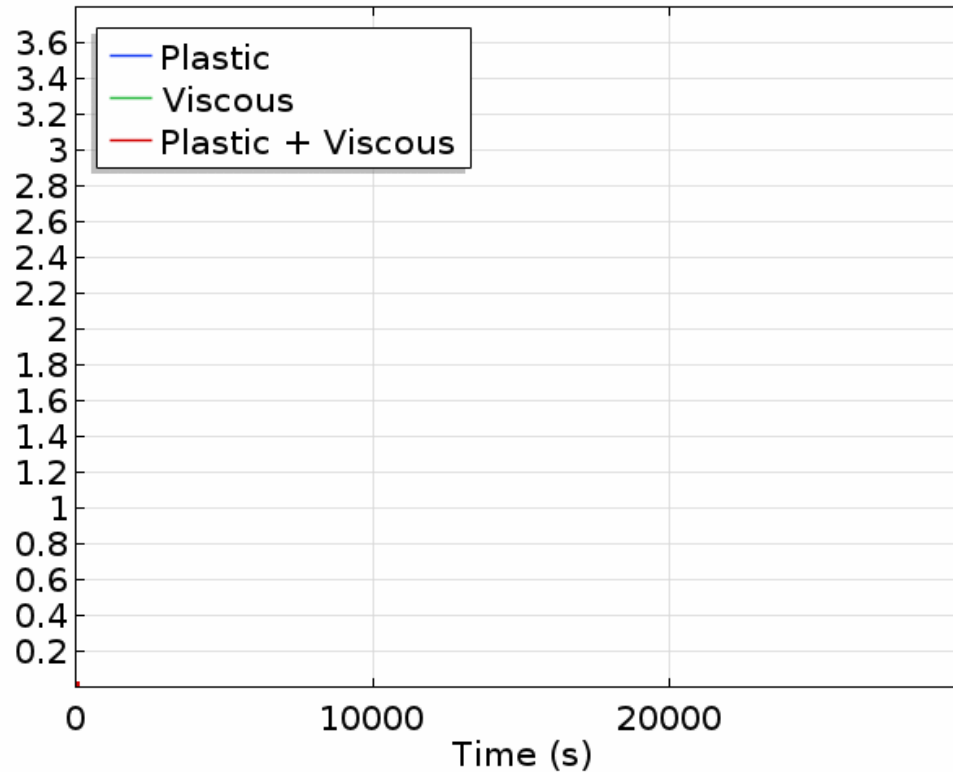
- 180 mm høyde
- 75 mm radius
- 0.3 Poisson's ratio
- M_R er ikke-lineær



COMSOL
Multiphysics

RLTT MODELLERING

vertikale permanente deformasjoner

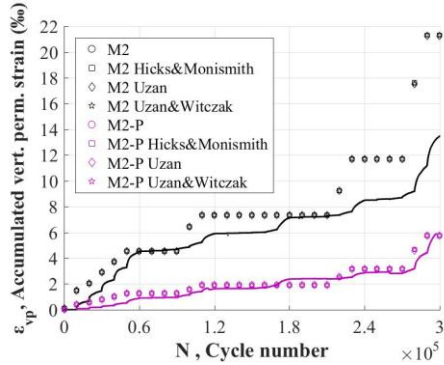


RLTT MODELLERING

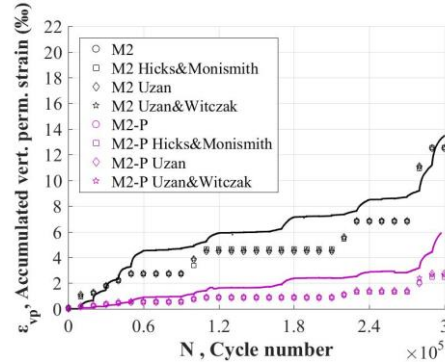
vertikale permanente deformasjoner

POLYMERBASERT

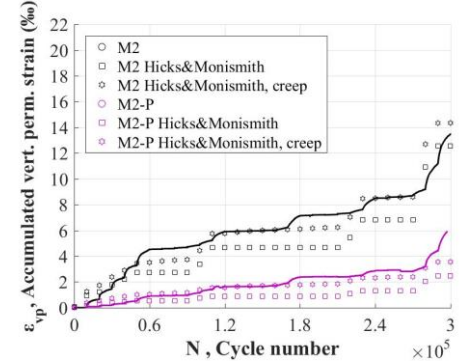
PLASTISITET (Tresca)



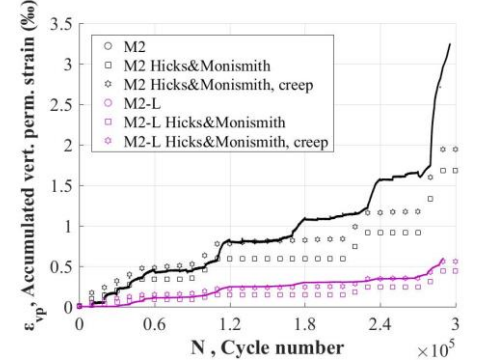
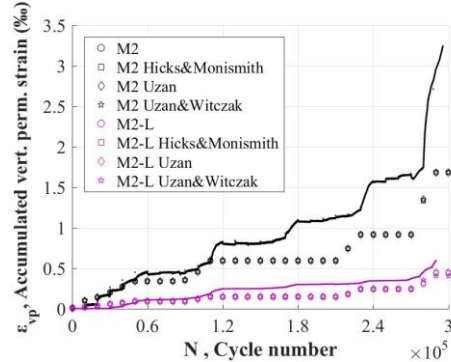
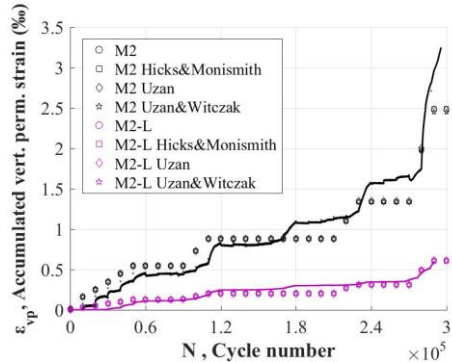
PLASTISITET (Von Mises)



PLASTISITET (Von Mises) + CREEP



LIGNINBASERT



FELTTEST 30-cm BÆRELAG

PLASSERING AV MATERIALE



VANN



P-BASERT TILSETNINGSSTOFF



L-BASERT TILSETNINGSSTOFF



BLANDING



VALSING



FELTTEST 30-cm BÆRELAG



FELTTEST 30-cm BÆRELAG – ETTER 50 DAGER

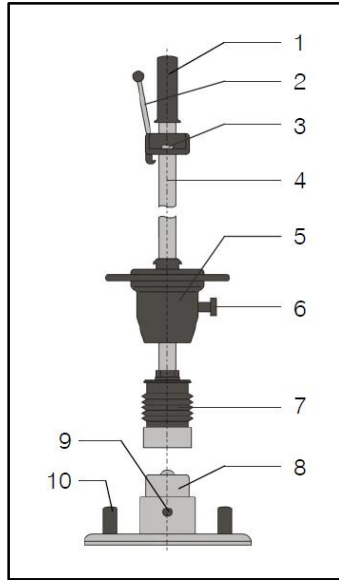


FELTTEST

DAGLIGE MÅLINGER

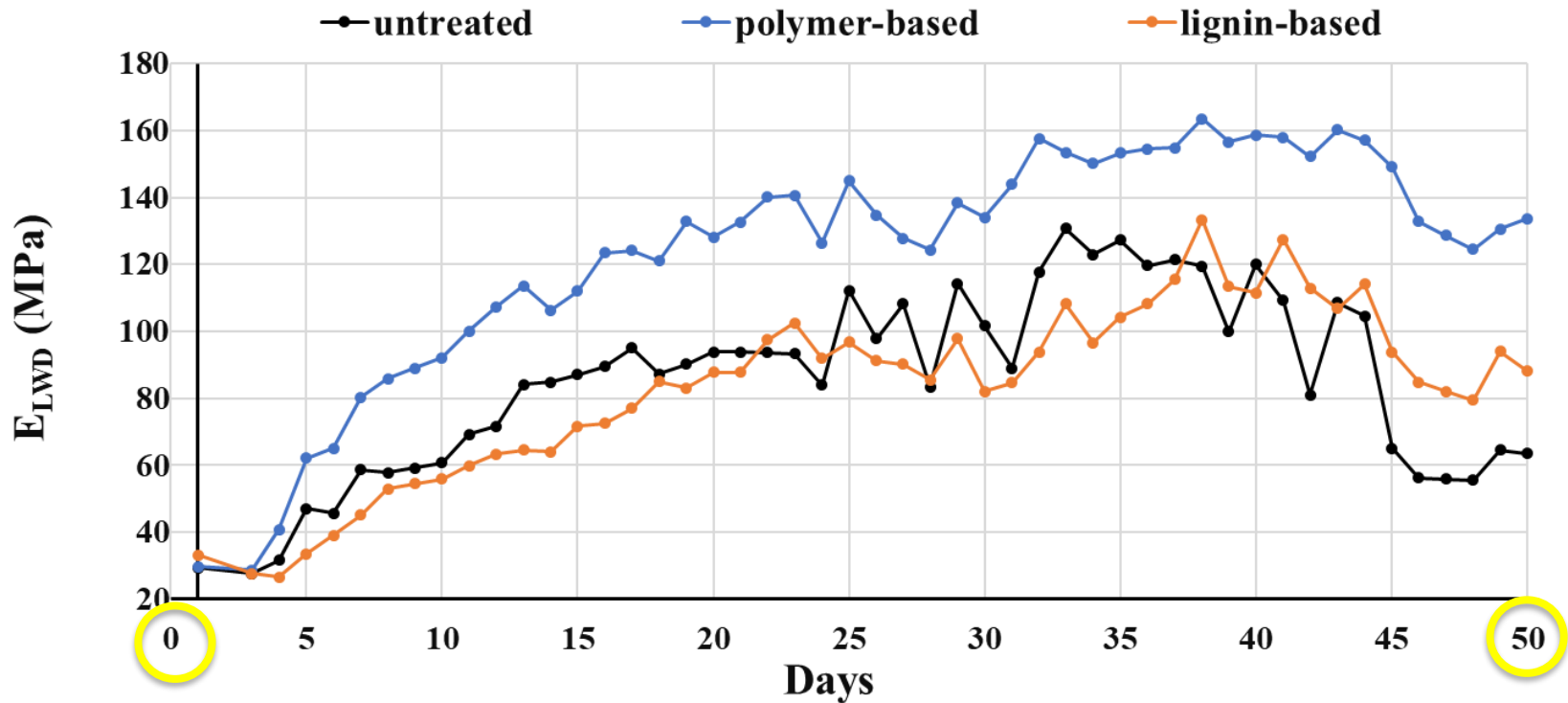
➤ Evaluering av stivhet

Light Weight Deflectometer (LWD)



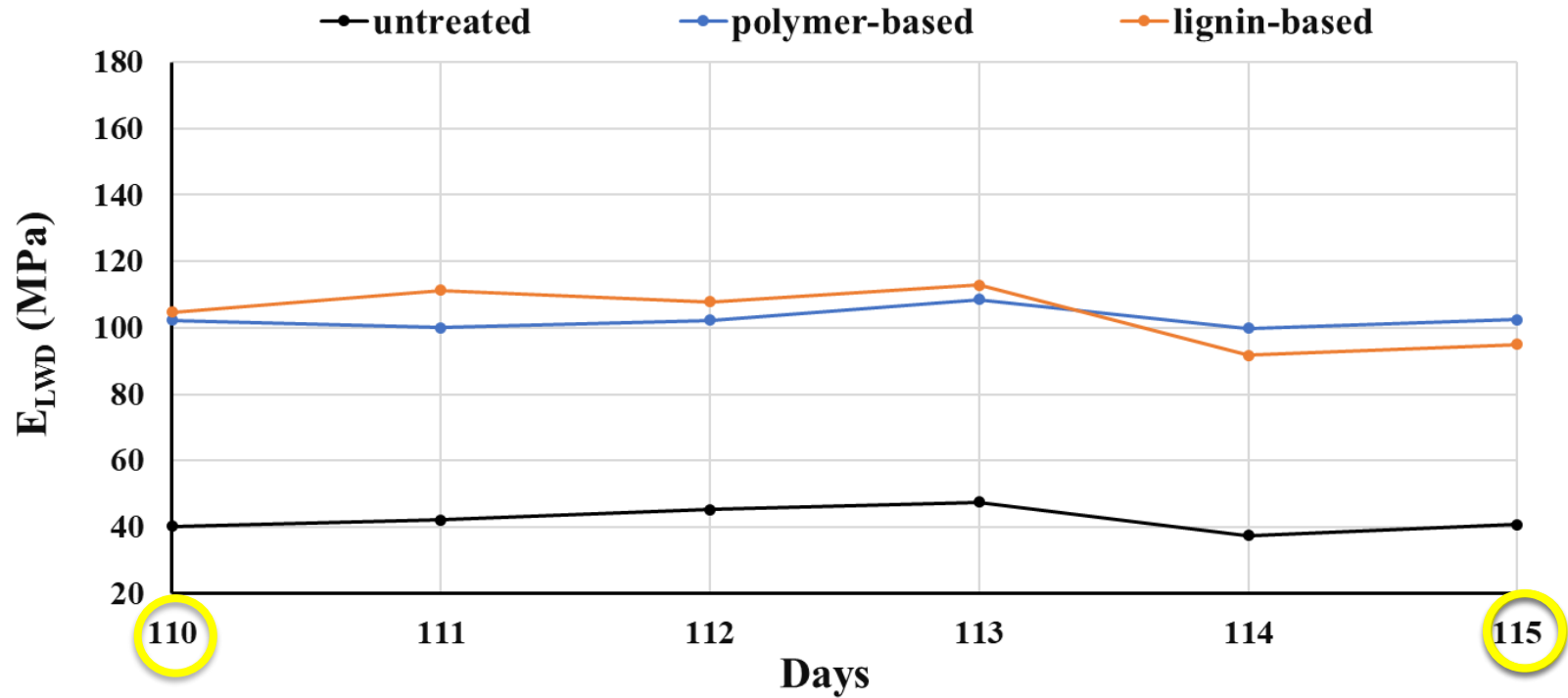
FELTTEST

MODUL E_{LWD}



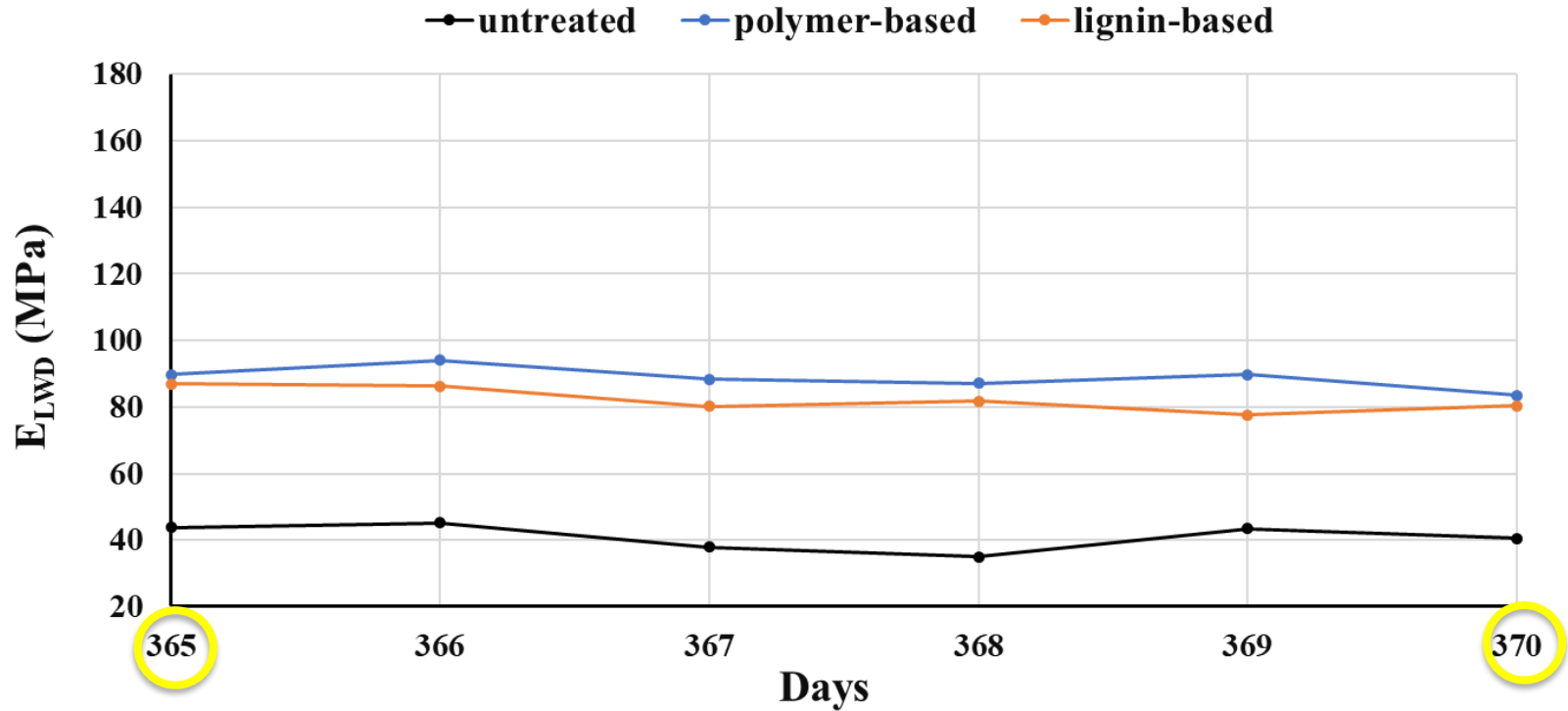
FELTTEST

MODUL E_{LWD}



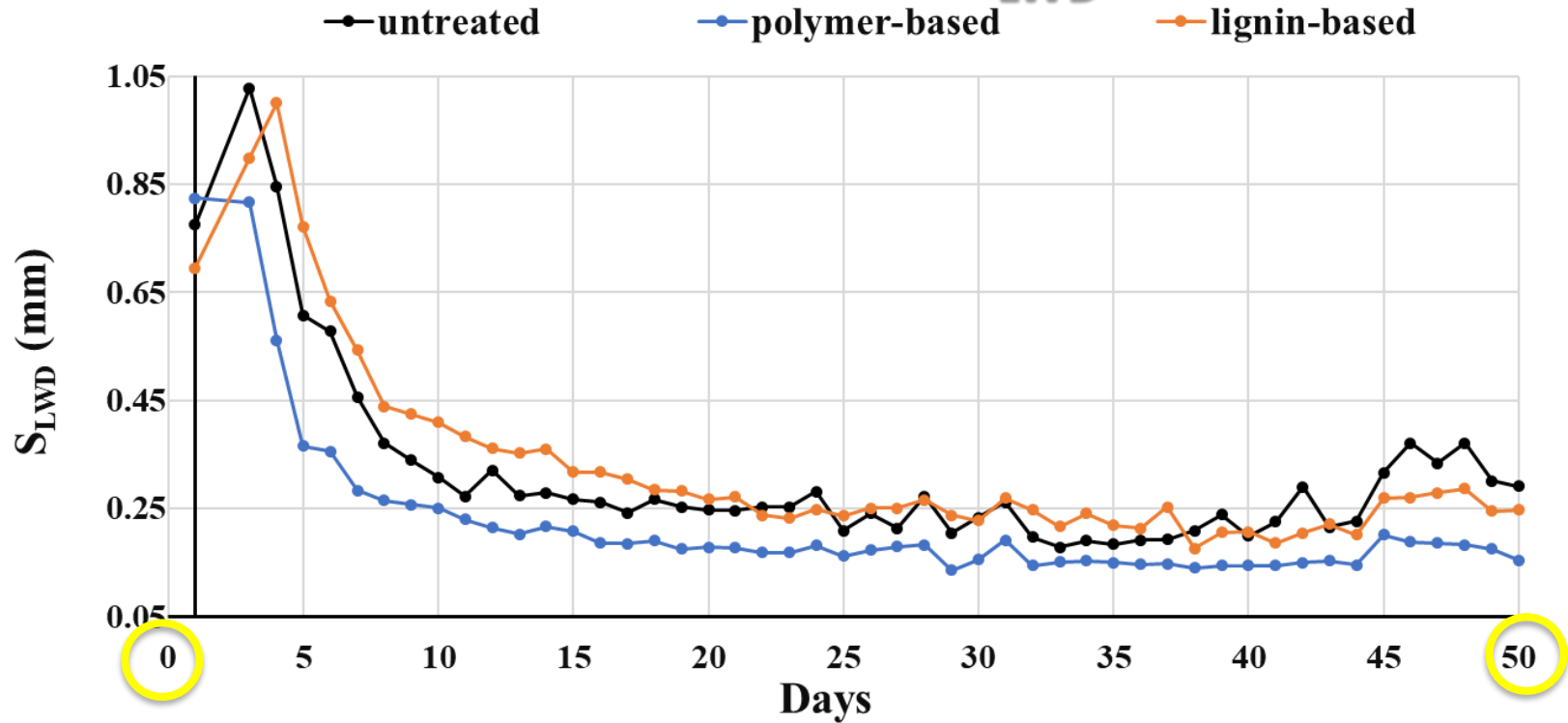
FELTTEST

MODUL E_{LWD}



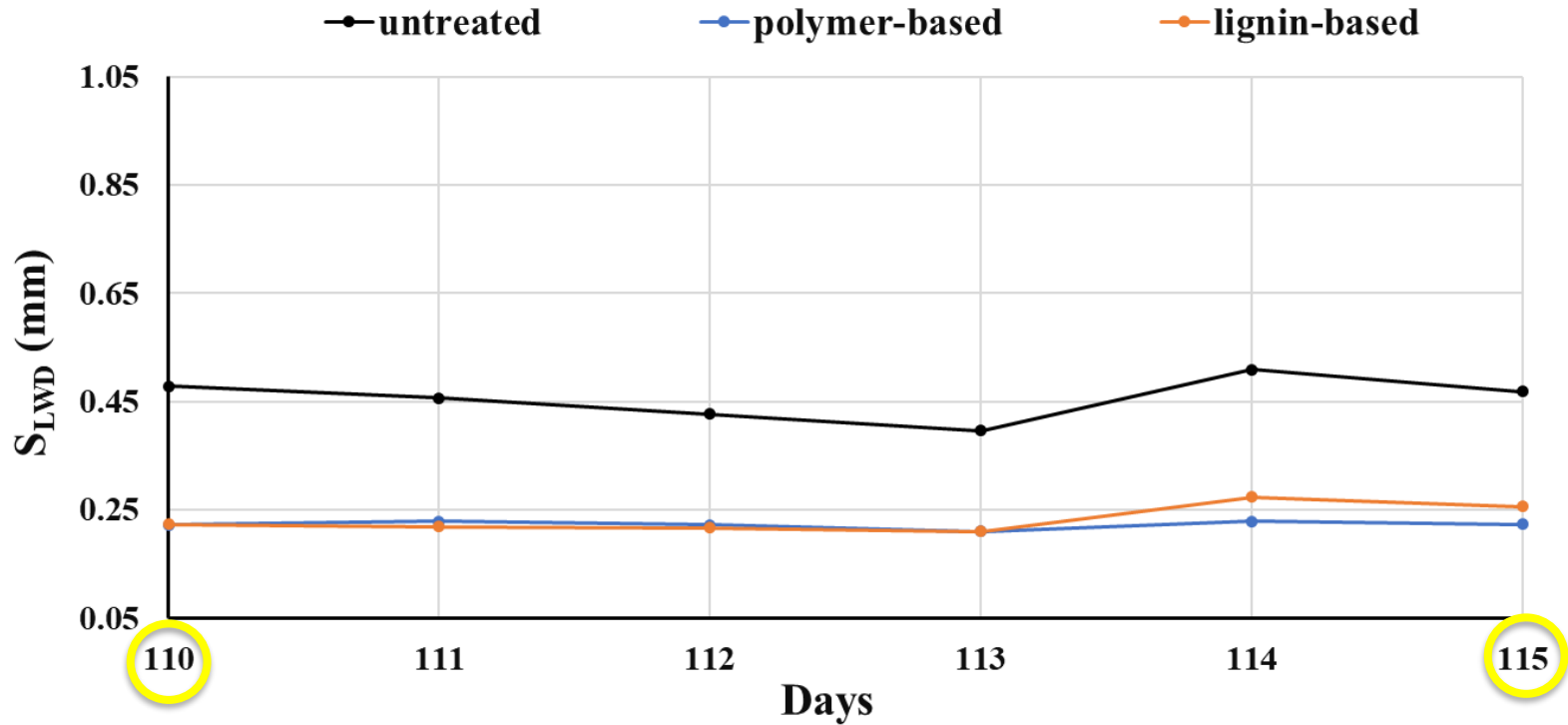
FELTTEST

NEDBØYNING S_{LWD}



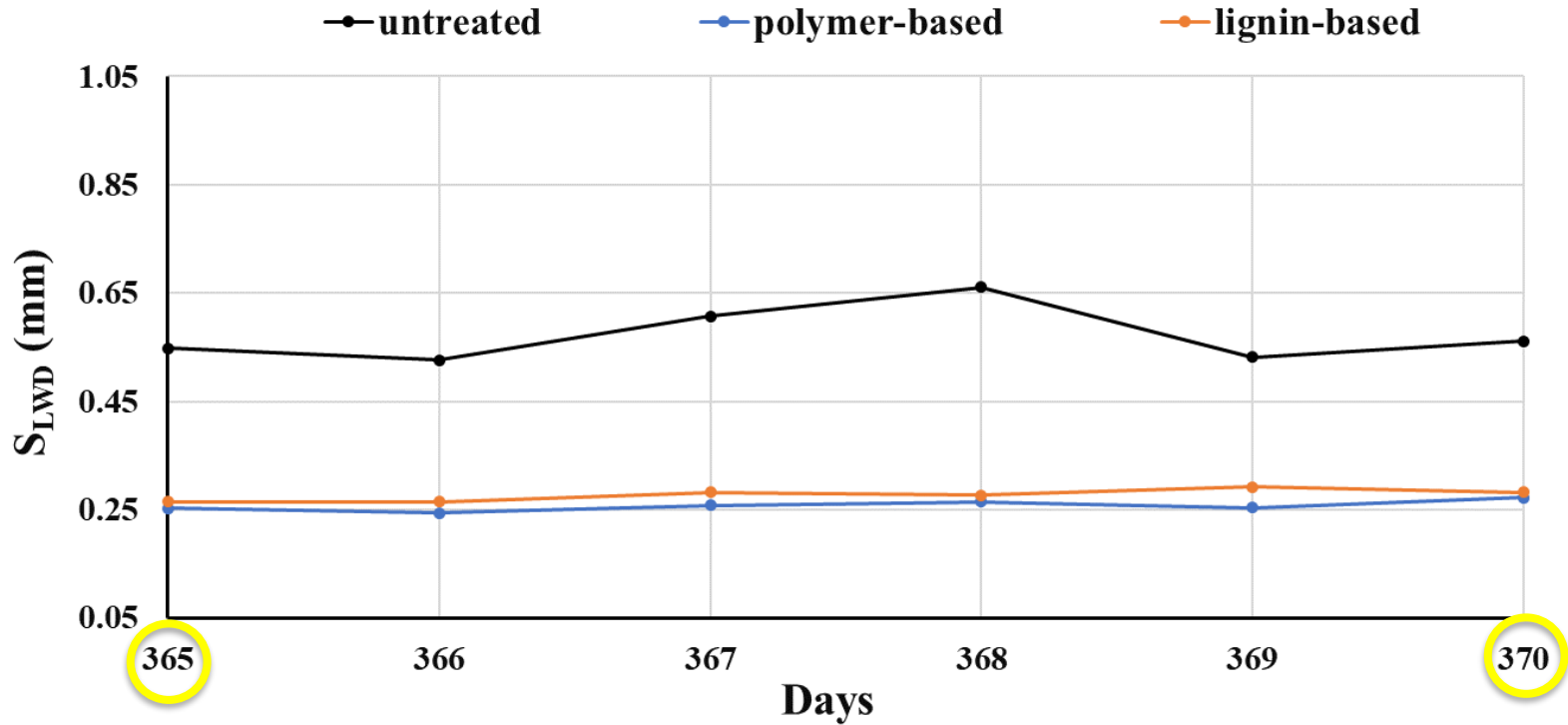
FELTTEST

NEDBØYNING S_{LWD}



FELTTEST

NEDBØYNING S_{LWD}



KONKLUSJONER OG FUNN (1 av 2)

- ❖ **Bergarter langs E39:**
noen («sterke») tilfredsstillende krav, noen («svake») gjør ikke det
- ❖ **Tilsetningsstoffer kan sørge for at stivhet**
til «svak» pukk til og med kan bli bedre enn for «sterk» pukk
- ❖ **Permanente deformasjoner for pukk med tilsetningsstoff er**
vesentlig mindre enn for ubehandlet materiale

KONKLUSJONER OG FUNN (2 av 2)

- ❖ Polymerbasert tilsetningsstoff: rask effekt
- ❖ Ligninbasert tilsetningsstoff: trenger tid for å bli effektiv
- ❖ Lab- og felttest, nyttige for å forstå langtidseffekter

INNSPILL FOR FRAMTIDIG FORSKNING

- ✓ **Utvide studien til andre bergarter**
- ✓ **Teste tilsetningsmengder for å utnytte dem på best mulig måte**
 - ✓ **Bruke “svakt” tilslag i de bundne lagene av veier**



Tusen takk for oppmerksomheten!



Postdoktor: Diego M. Barbieri / NTNU
diego.barbieri@ntnu.no

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

Medveileder: Lillian M. Uthus/ Veidekke
lillian.uthus.mathisen@veidekke.no

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

Kontaktperson hos NAU: Chun-Hsing Ho/NAU
chun-hsing.ho@nau.edu