

Kontinuerlig bæreevnemåling med Raptor (Rapid Pavement tester)



Statens vegvesen



Per Otto Aursand, Statens vegvesen
23.03.2022

NAMet-seminar

RADISSON BLU SCANDINAVIA HOTEL, OSLO



Hva er gjort og hvorfor?

- Det er sommer/høst 2021 målt bæreevne på ca 6.000 felt-km riksveg i områdene Vest, Sør og Øst.
- Etter utlyst konkurranse ble det Rambøll Norge AS, som har målt og prosessert dataene for oss, klargjort for innleggelse i NVDB.

Hvorfor gjøre dette: Systematisk bæreevne målinger er en av de viktigste metodene vi har for å få oversikt over tilstanden på vegene. For dermed kunne stille riktig «diagnose og medisin», når skader oppstår. Dette også for å ha kunnskap om tilstand, for om mulig kunne være i forkant med reparasjoner og utbedringer. Dette er bra både for trafiksikkerhet, oppetid og effektivitet.



Bilde tatt av Eli Ramstad

Område øst: Fredrik Moen, Petter Storødegård, Erik Jølsgård. ToS: Ingar Skogli (Geodata/Teknologistab)

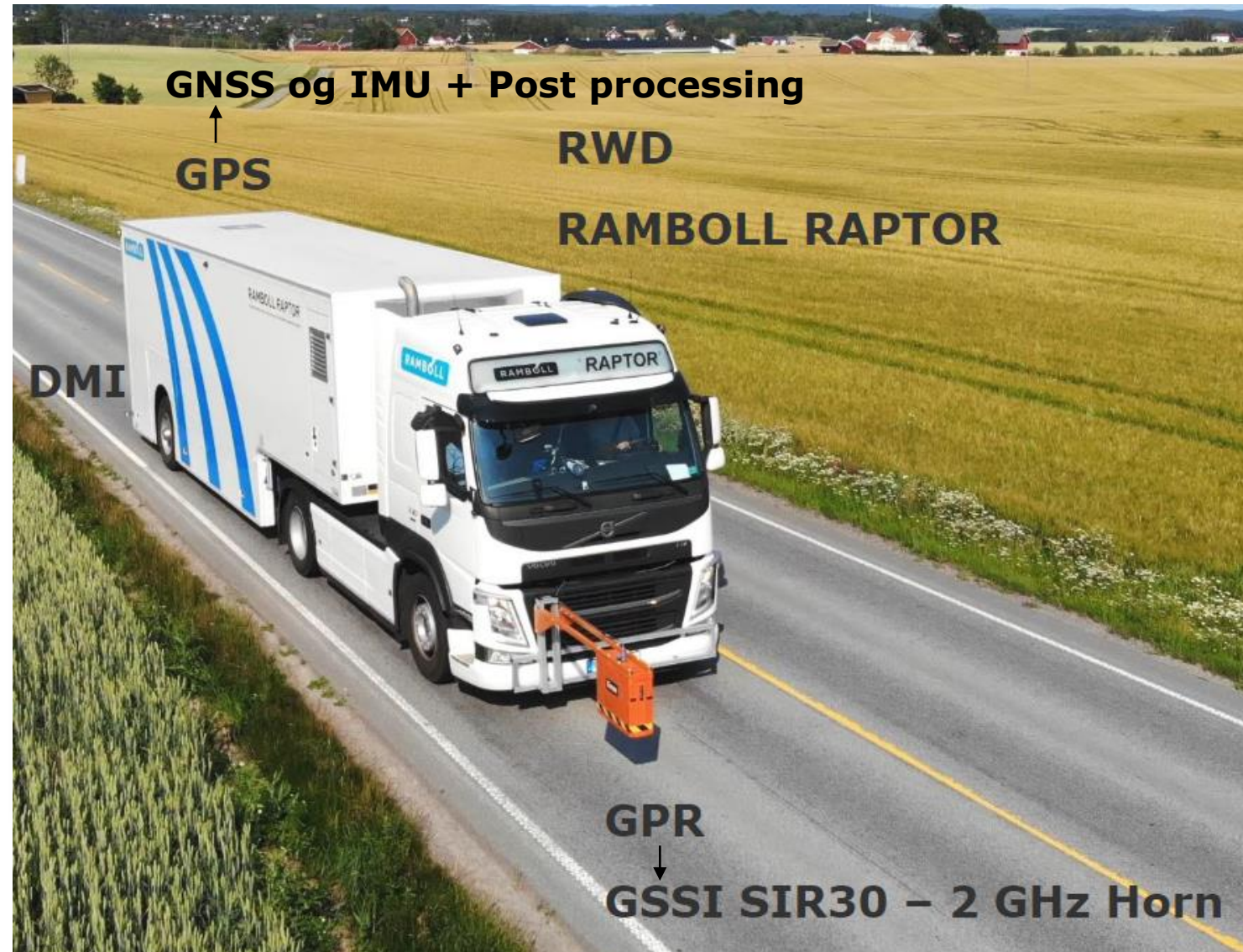


Bilde tatt av Eli Ramstad

Bildet viser representanter fra områdene vest og øst, vegteknologer fra divisjon DoV og prosjektleder.

Raptor

- Single axle semi-trailer
 - Based on line laser profilers
 - 12 lasers on 5.4 meter beam
 - Lasers 1.5 m behind the wheel and 3.6 m in front of the wheel
 - Traffic speed
-
- Length = 9.5 meter (31 feet)
 - Width = 2.5 meter (8.2 feet)
 - Height = 3.35 meter (11 feet)
 - Axle load = 6 – 10 tons (13 - 22 kip)





Statens vegvesen

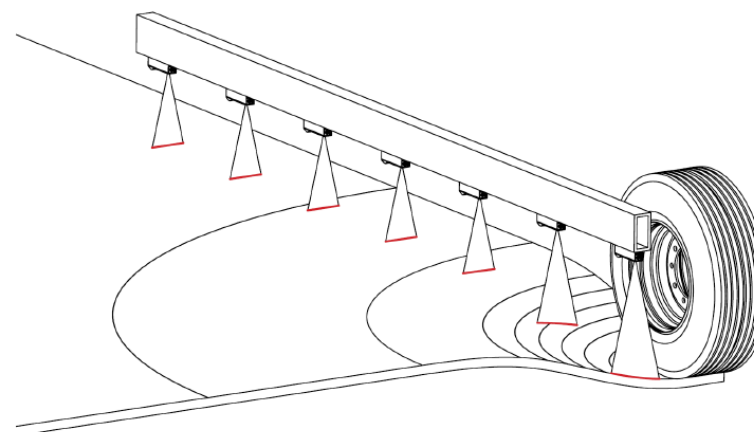
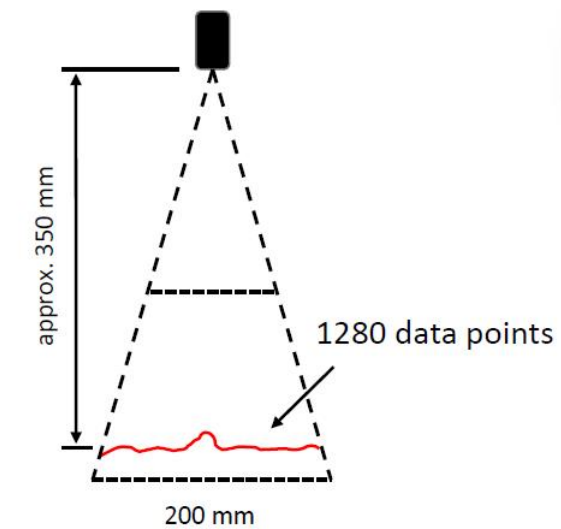
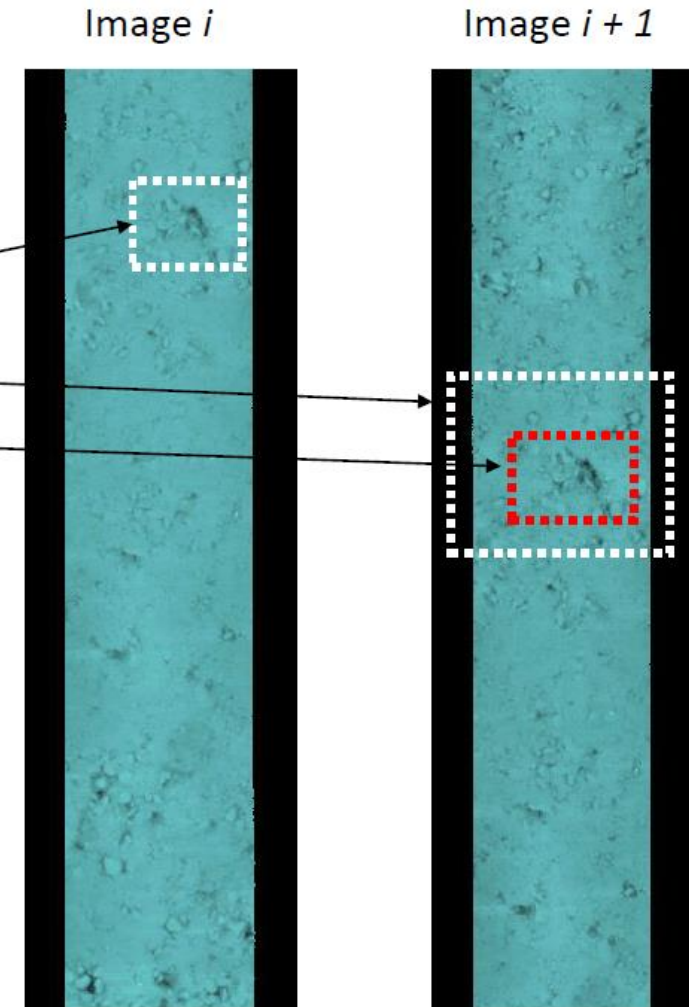


Image recognition

- Images are constructed from consecutive line scans
- A template is defined in image from laser profiler i
- A search area is defined in image from laser profiler $i + 1$
- Normalized cross-correlation finds best match
- Correlated distance measurements is used with gyro data to obtain RAPTOR deflection indices



Three equidistantly placed distance lasers on rigid beam

$$z_0 = h + d_0 + r_0$$

$$z_1 = h + b + d_1 + r_1$$

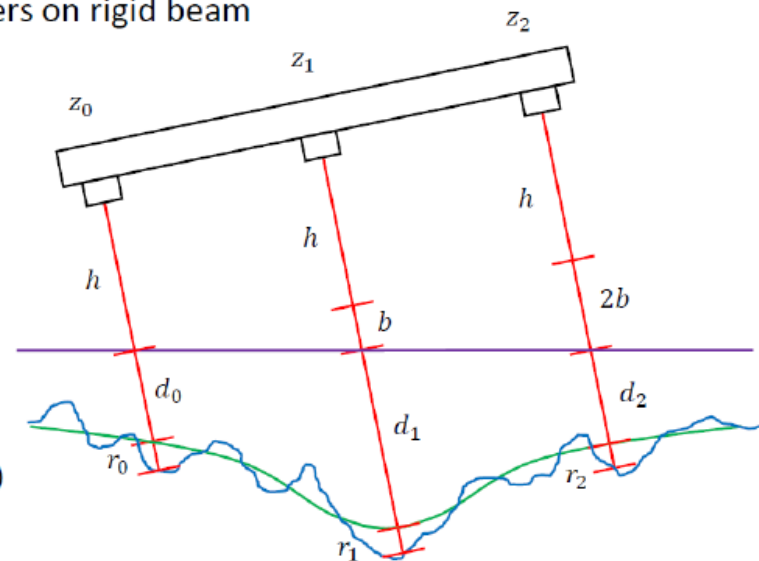
$$z_2 = h + 2b + d_2 + r_2$$

z = distance from laser to surface

h = beam height above perfectly flat road

b = angle between beam and flat road

r = local surface texture

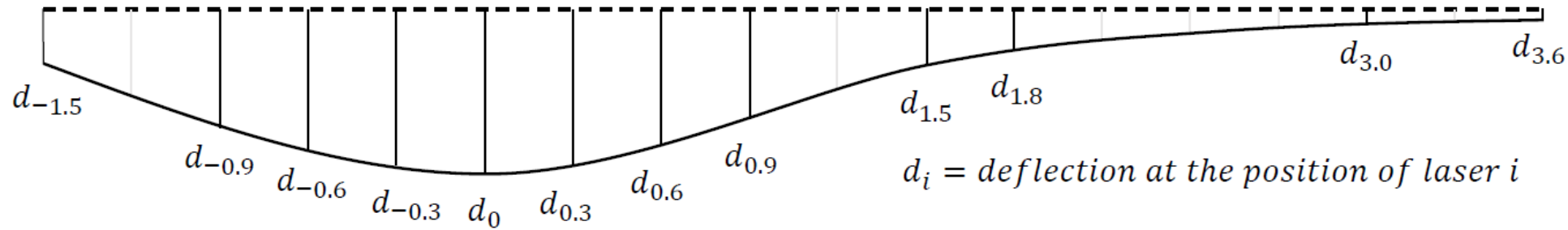


— Perfectly flat road (no texture, no deflection)

— Road with deflection, but no texture

— Road with deflection and texture

RDI (Raptor Deflection Indices)



$$RDI_{-1.5;-0.9;-0.3} = d_{-1.5} - 2d_{-0.9} + d_{-0.3}$$

$$RDI_{-1.5;-0.6;0.3} = d_{-1.5} - 2d_{-0.6} + d_{0.3}$$

$$RDI_{-1.5;-0.3;0.9} = d_{-1.5} - 2d_{-0.3} + d_{0.9}$$

$$RDI_{-1.5;0;1.5} = d_{-1.5} - 2d_0 + d_{1.5}$$

$$RDI_{-0.9;-0.6;-0.3} = d_{-0.9} - 2d_{-0.6} + d_{-0.3}$$

$$RDI_{-0.9;-0.3;0.3} = d_{-0.9} - 2d_{-0.3} + d_{0.3}$$

$$RDI_{-0.9;0;0.9} = d_{-0.9} - 2d_0 + d_{0.9}$$

$$RDI_{-0.9;0.3;1.5} = d_{-0.9} - 2d_{0.3} + d_{1.5}$$

$$RDI_{-0.6;-0.3;0} = d_{-0.6} - 2d_{-0.3} + d_0$$

$$RDI_{-0.6;0;0.6} = d_{-0.6} - 2d_0 + d_{0.6}$$

$$RDI_{-0.6;0.6;1.8} = d_{-0.6} - 2d_{0.6} + d_{1.8}$$

$$RDI_{-0.6;1.5;3.6} = d_{-0.6} - 2d_{1.5} + d_{3.6}$$

$$RDI_{-0.3;0;0.3} = d_{-0.3} - 2d_0 + d_{0.3}$$

$$RDI_{-0.3;0.3;0.9} = d_{-0.3} - 2d_{0.3} + d_{0.9}$$

$$RDI_{-0.3;0.6;1.5} = d_{-0.3} - 2d_{0.6} + d_{1.5}$$

$$RDI_{0;0.3;0.6} = d_0 - 2d_{0.3} + d_{0.6}$$

$$RDI_{0;0.9;1.8} = d_0 - 2d_{0.9} + d_{1.8}$$

$$RDI_{0;1.5;3.0} = d_0 - 2d_{1.5} + d_{3.0}$$

$$RDI_{0;1.8;3.6} = d_0 - 2d_{1.8} + d_{3.6}$$

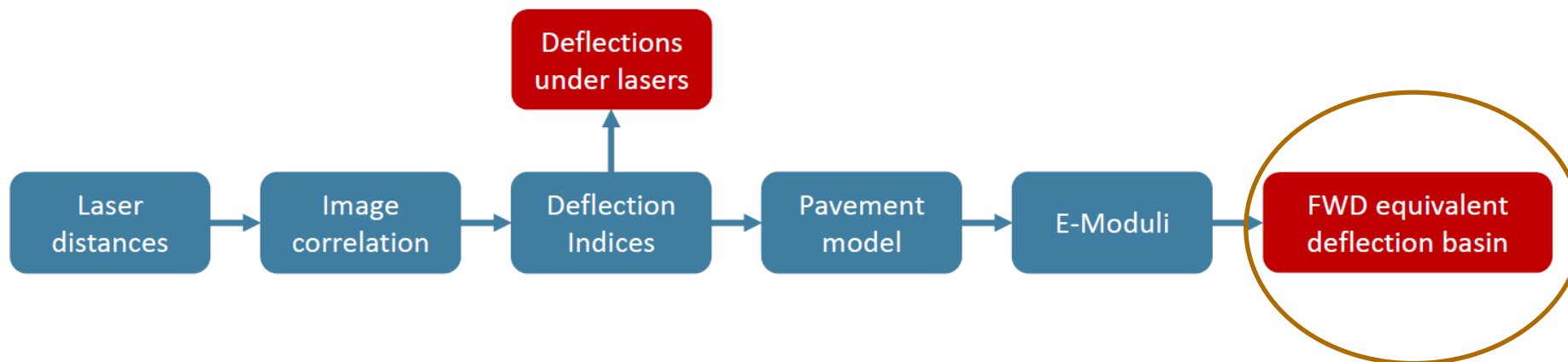
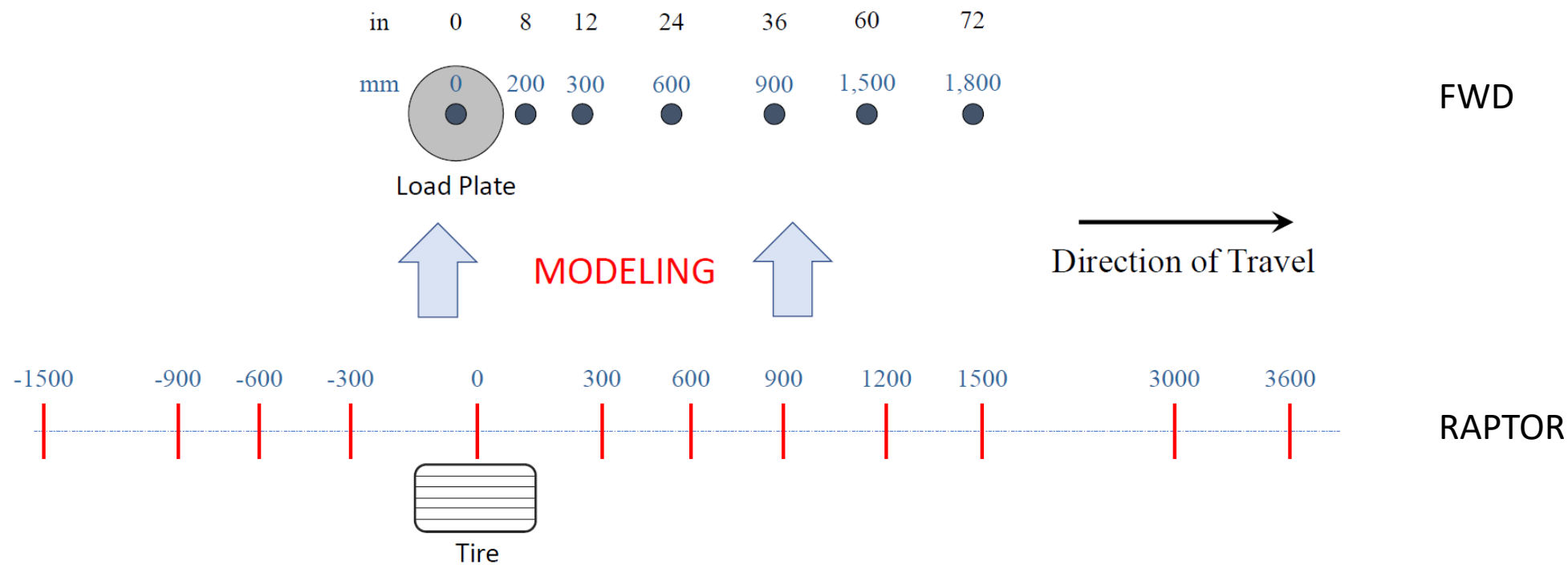
$$RDI_{0.3;0.6;0.9} = d_{0.3} - 2d_{0.6} + d_{0.9}$$

$$RDI_{0.3;0.9;1.5} = d_{0.3} - 2d_{0.9} + d_{1.5}$$

$$RDI_{0.6;1.8;3.0} = d_{0.6} - 2d_{1.8} + d_{3.0}$$

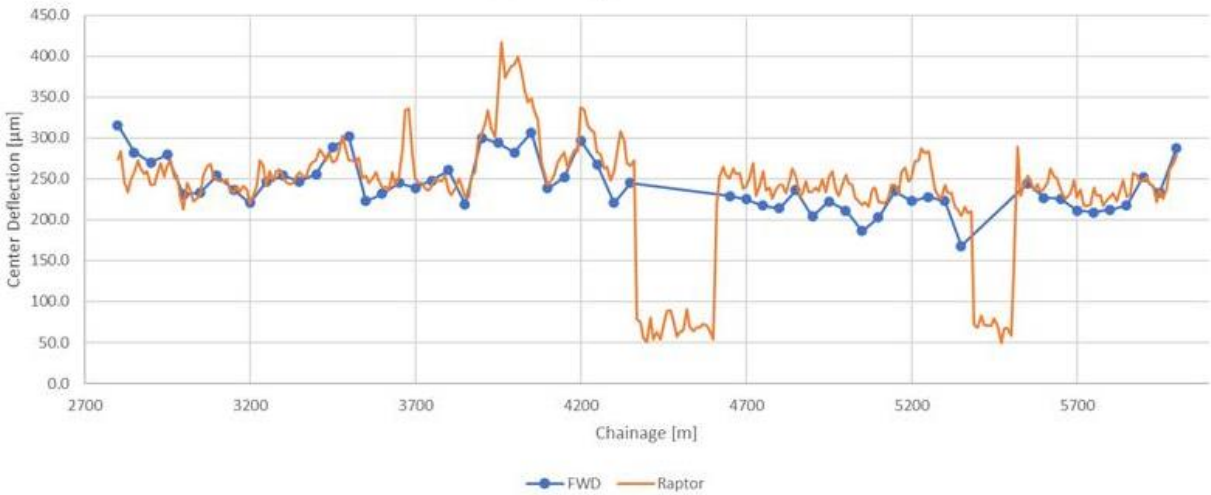
RAPTOR 12 laser configuration – giving 22 RDI's (RAPTOR Deflection Indices)

Modellering for å få FWD-ekvivalente nedbøyninger

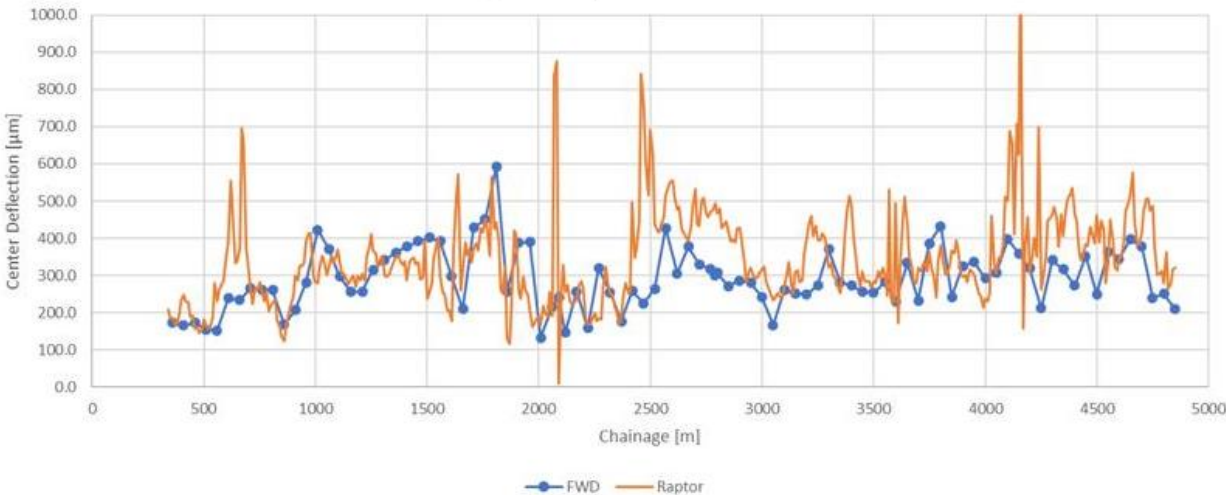


Sammenligningsmåling med fallodd

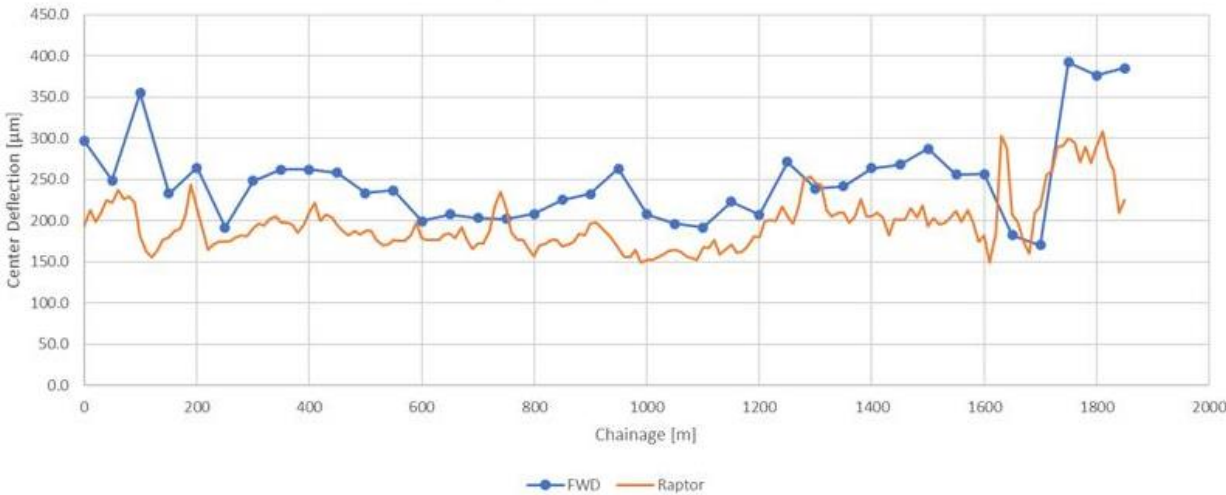
FWD-Raptor Comparison RV36 S3 D1



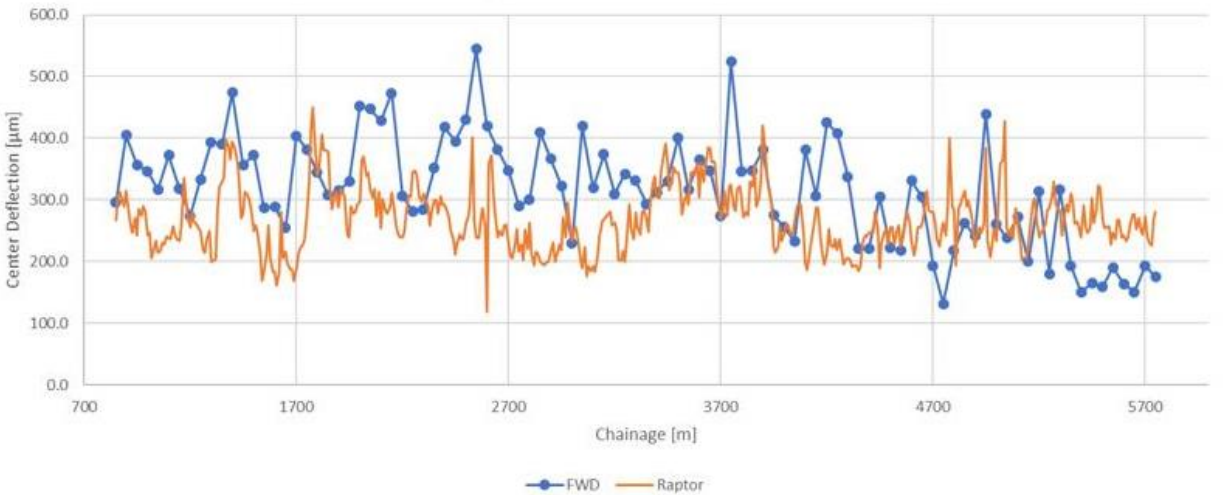
FWD-Raptor Comparison RV36 S3 D40



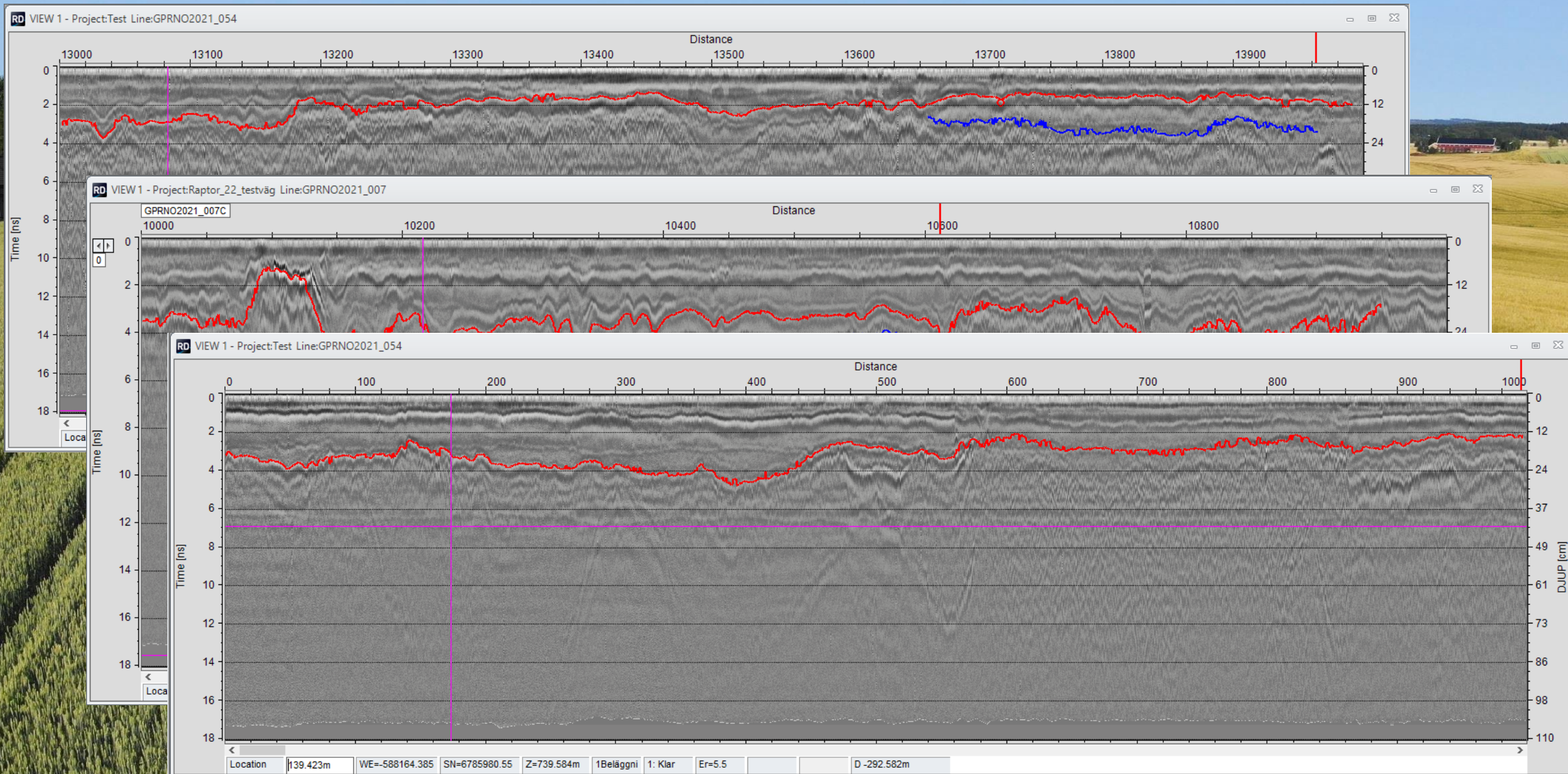
FWD-Raptor Comparison RV36 S12 D1



FWD-Raptor Comparison RV36 S11 D1



RAPTOR - GPR



Hva får vi levert (utdrag)?

- .csv-filer for hver veg-strekning-delstrekning
- Aggregerte data for 10m lengder
- Sted og tid-festing
- Kjørehastighet
- Luft- og dekketemp.
- Fallodd-ekvivalente nedbøyninger
- Bæreevne
- Bæreevne (temp. korrigert)
- SCI (d0-d20)
- BCI (d90-d120)
- Asfalttykkelser (1-2 lag)

Formler til beregning av parametere fra Raptor-målinger

- Bæreevne

$$B_{asfalt} = 11 \cdot \left(\frac{E_{dim}}{200} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{50}{\dot{A}DT_T} \right)^{0,072}$$
$$E_{dim} = \frac{110 \cdot p}{\sqrt{d_0 \cdot (d_0 - d_{20})}} [MPa]$$

hvor p = maksimalverdien for flatetrykket mot overflaten på platen, MPa

(50 kN og platediameter 300 mm gir $p = 0,707$ MPa)

d_0 = nedbøyningen for geofonen i lastsentrum, mm

d_{20} = nedbøyningen for geofonen plassert 20 cm ute fra lastsentrum, mm

$\dot{A}DT_T$ er andel tunge kjøretøy

OBS: Nedbøyninger er i mm!

- Temperaturkorrigert bæreevne:

$$B_{Temp.korr.} = \frac{B}{1,3 - 0,015 \times T}$$

Hvor T = dekketemperaturen (overflatetemperatur) ($^{\circ}C$)

- Surface curvature index, SCI:

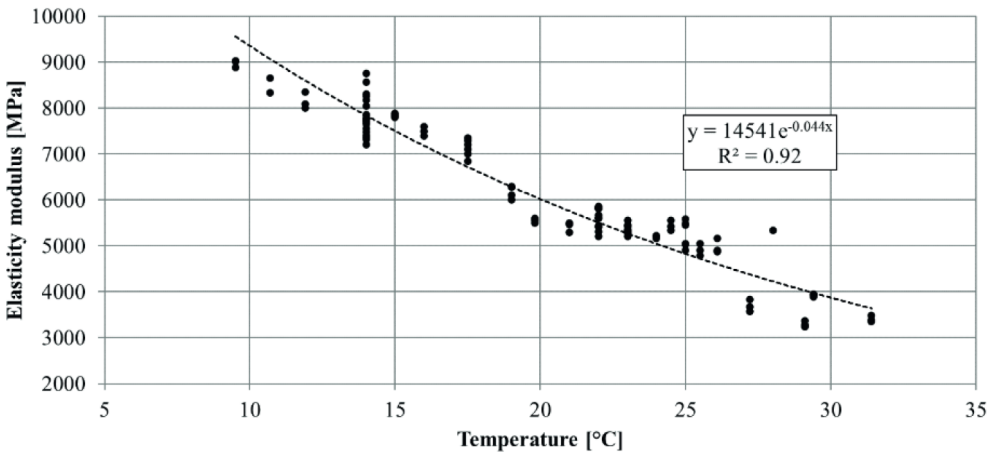
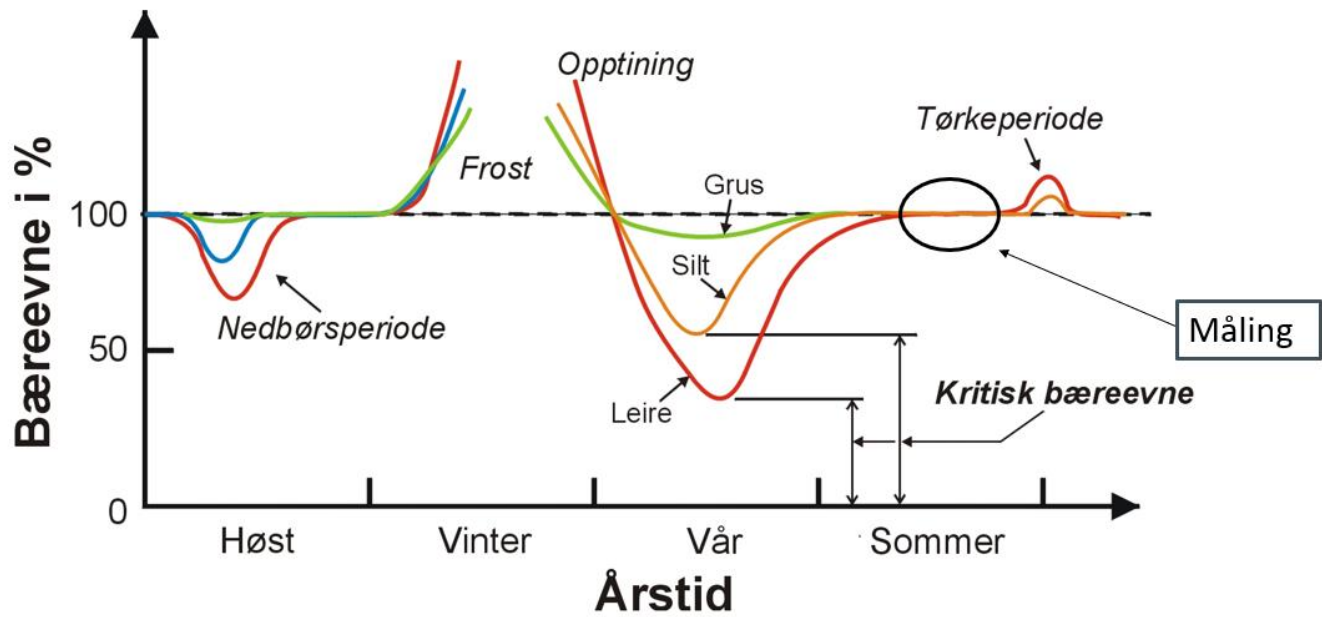
$$SCI = d_0 - d_{20}$$

- Base curvature index, BCI:

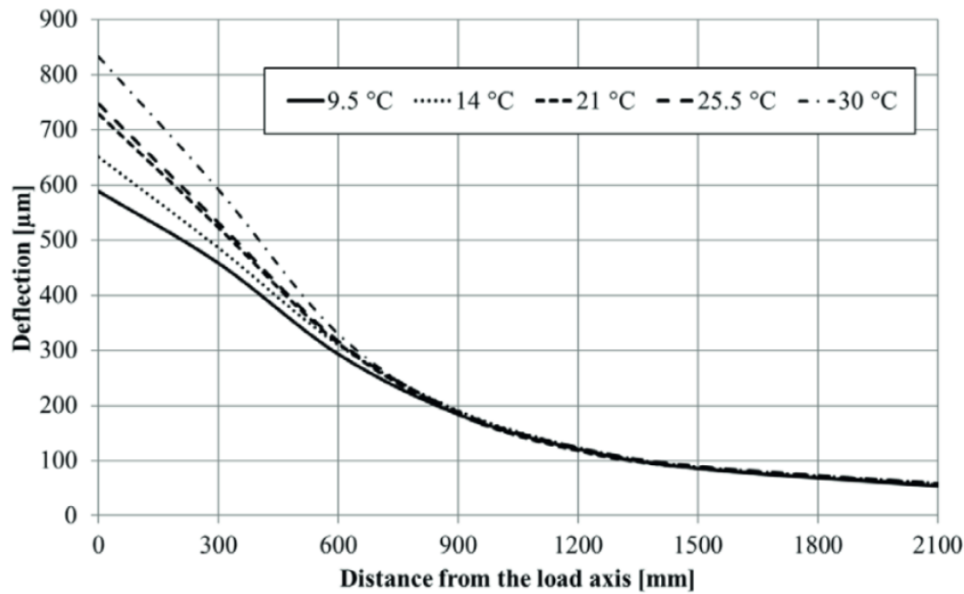
$$BCI = d_{90} - d_{120}$$

Behov for temperaturkorreksjon

For å kunne sammenligne målinger på vegnettsnivå må vi normalisere nedbøyningene mtp. temperatur!



Figur 4 Sammenheng mellom etterregnet E-modul og temperatur for asfalt (Březina, Machel og Zavřel, 2022)



Figur 5 Nedbøyning fra fallodd som funksjon av avstand fra lastsenter for forskjellige temperaturer (Březina, Machel og Zavřel, 2022)

Temperaturkorleksjon

- Foreløpig benyttes enkel korrigering av bæreevnen:

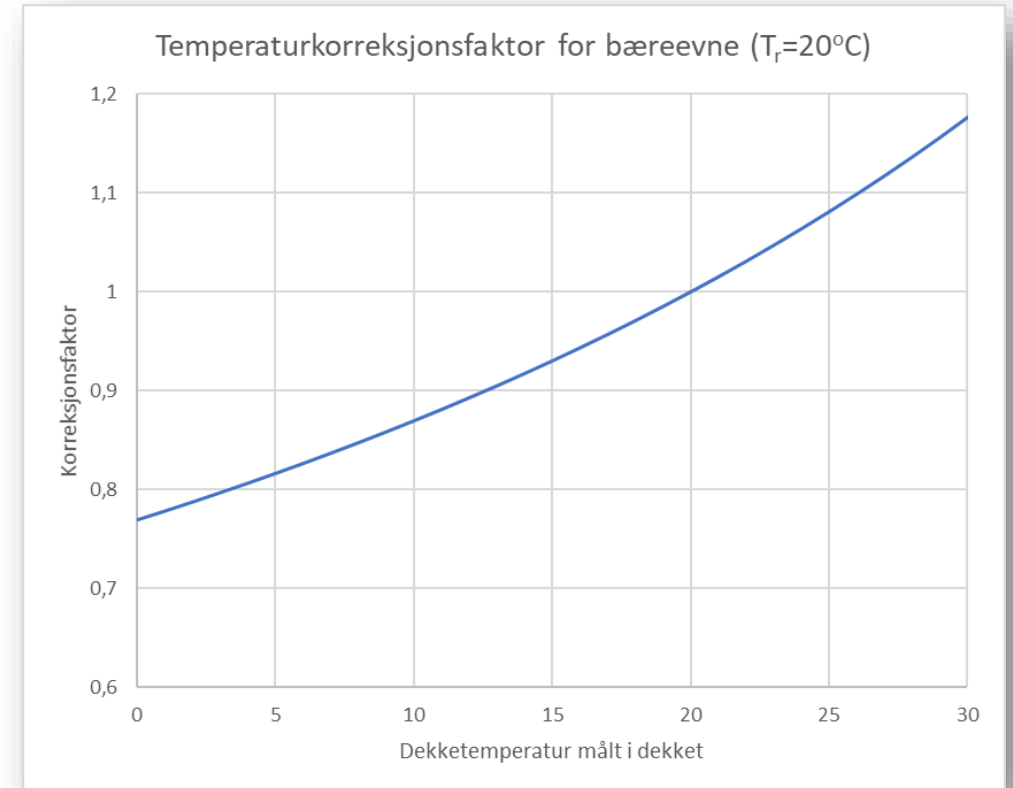
Temperaturkorrigert bæreevne:

$$B_{Temp.korr.} = \frac{B}{1,3 - 0,015 \times T}$$

Hvor T = dekketemperaturen (overflatetemperatur) (°C)

Korrigert bæreevne knyttes til referansetemperatur $T_r = 20\text{ °C}$

- Ønske om å korrigere tidligere i prosessen, enten:
 - Direkte på nedbøyingene
 - I modellen for beregning av E-moduler
- Behov for å estimere temperatur midt i dekket (for eksempel BELLS3 ligning)
- Masteroppgave på NTNU



What is Intelligent Asset Management



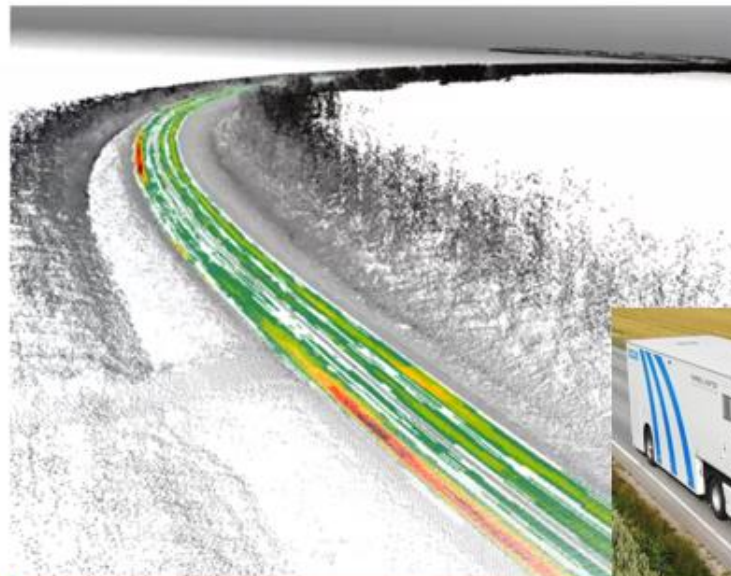
1. **Reactive:** measures are taken based mainly on the surface condition monitoring results (=symptoms)



Kun funksjonell tilstand



2. **Proactive:** monitoring is made to detect root causes of the surface condition problems (diagnostics) and measures are taken before damages appear



Funksjonell + strukturell tilstand



Forenklet vurdering av strukturell og funksjonell tilstand

Problembeskrivelse:

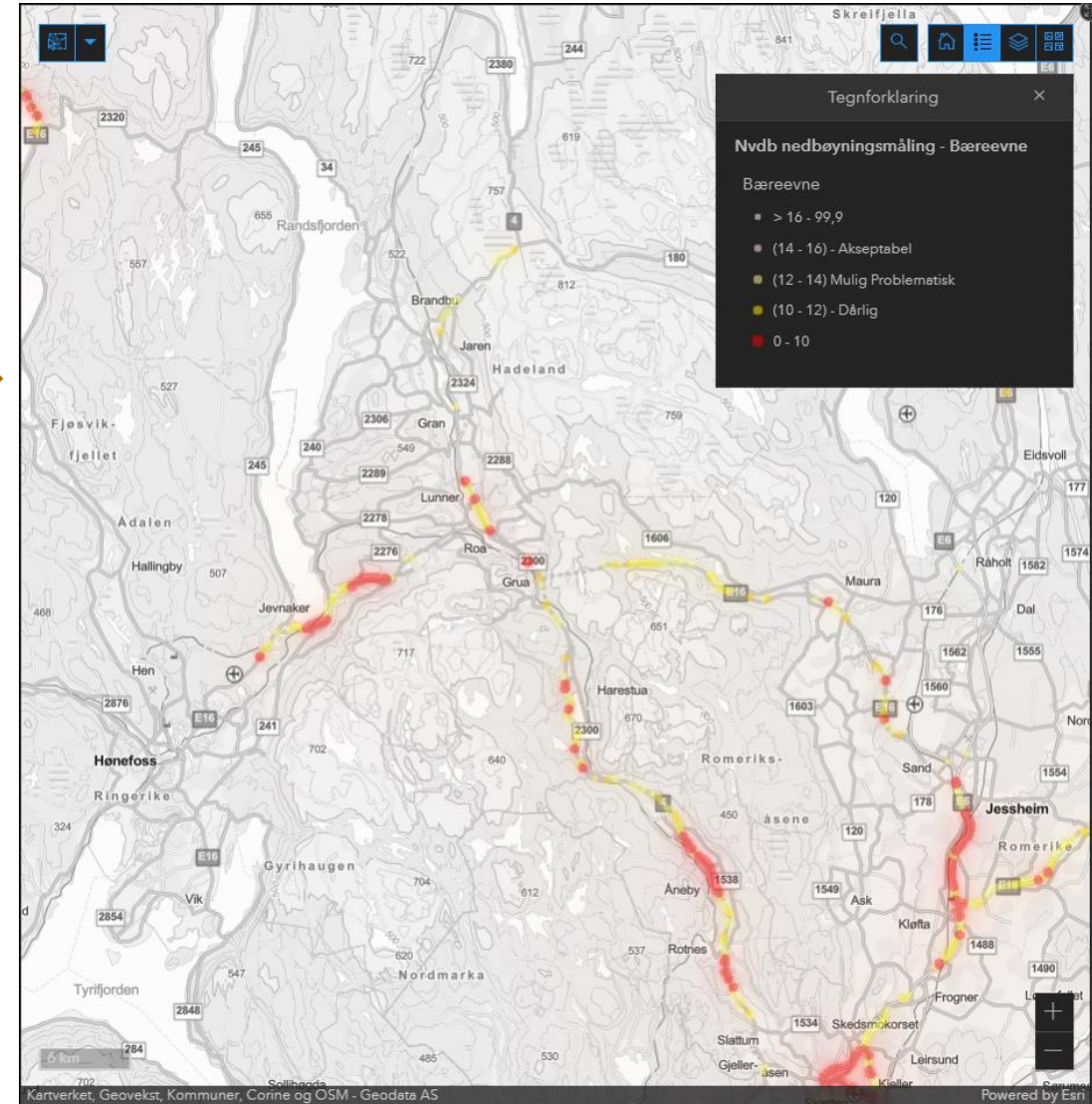
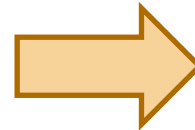
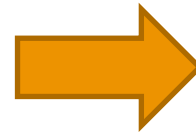
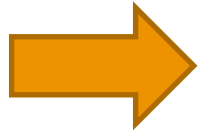
Bæreevne	Sporutvikling/levetidsfaktor	
	God	Dårlig
God	Ingen problemer	Problemer knyttet til selve vegdekket eller bæreevne i telegsningen
Dårlig	Potensielt problem i fremtiden (Gjøres tiltak i god tid vil følgeskader hindres)	Større problemer (Forsterkning er nødvendig)

Valg av vedlikeholdsstrategi:

Bæreevne	Sporutvikling/levetidsfaktor	
	God	Dårlig
God	Ingen tiltak nødvendig	Ordinært dekkevedlikehold (+drenering)
Dårlig	Pro-aktivt vedlikehold på dekke og drenering	Forsterkning

Riktig tiltak på
riktig sted
(til riktig tid)!

Import til NVDB og visning i dashboard sammen med andre fagdata

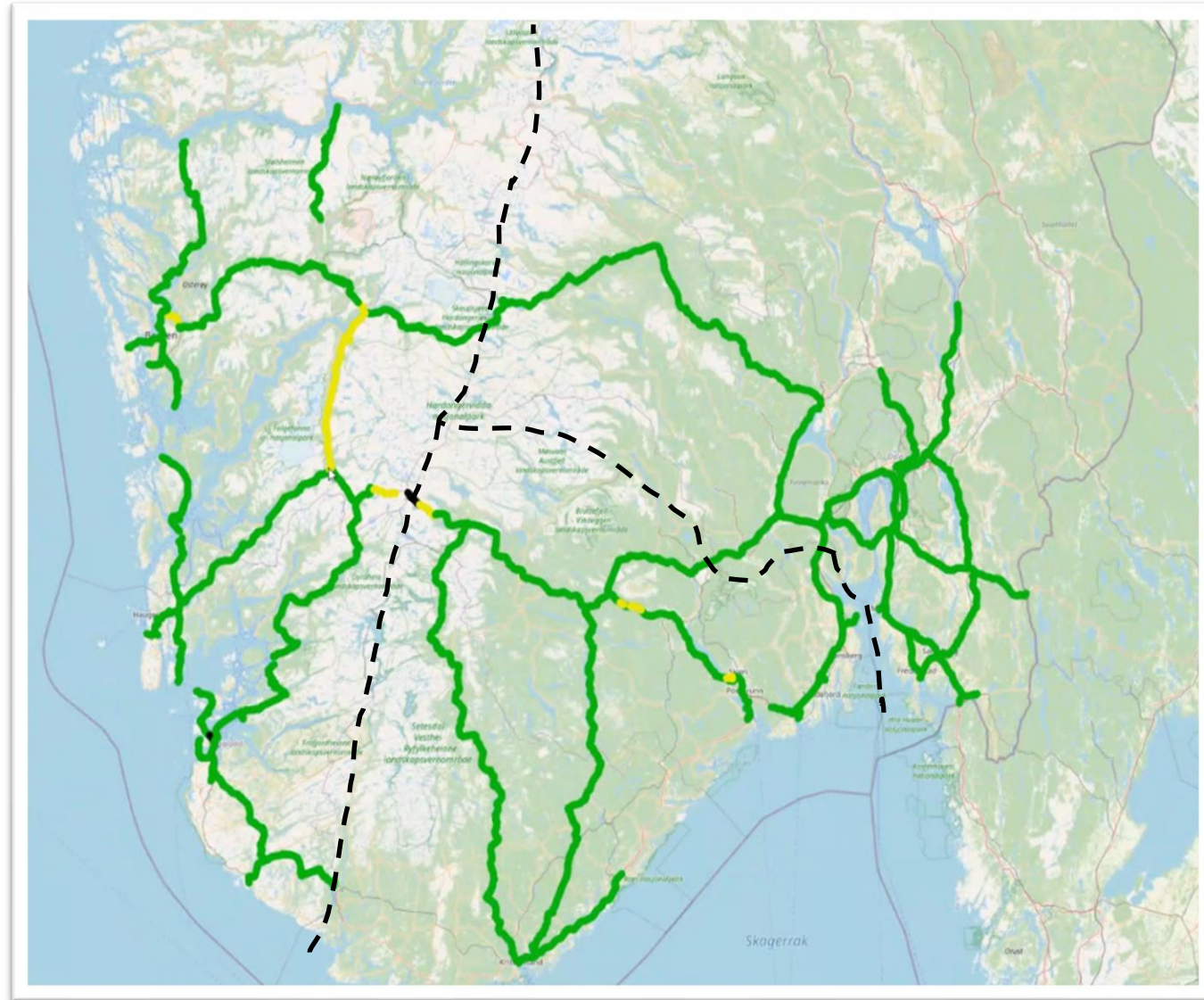


Årets målinger



Statens vegvesen

- ~ 6000 felt-km målt i Øst, Sør og Vest
- Opsjon for 2022 er løst ut og det blir målinger hovedsakelig i område Nord.
- Mulig opsjon for 2023 med suppleringer i Midt, Vest og Øst for å få målt hele rv.-nett.



Gjennomføring

- Værforbehold – kan bare måle på tørr veg
- Vegarbeid og stengte tunneler
- Smale veger

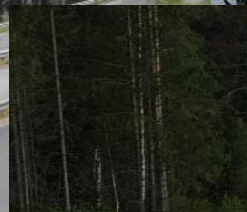
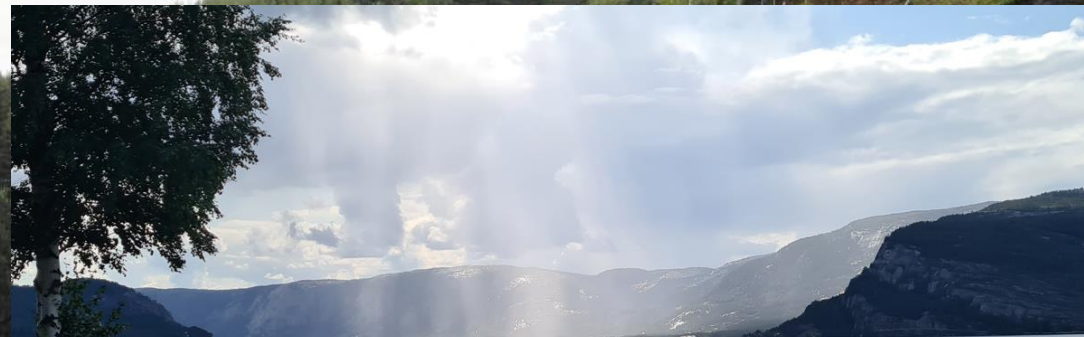
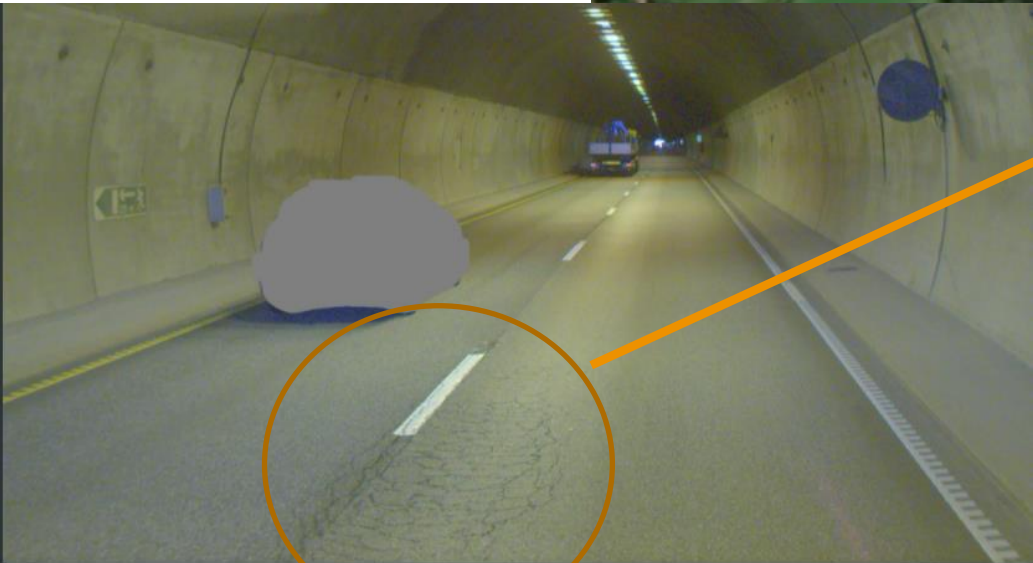
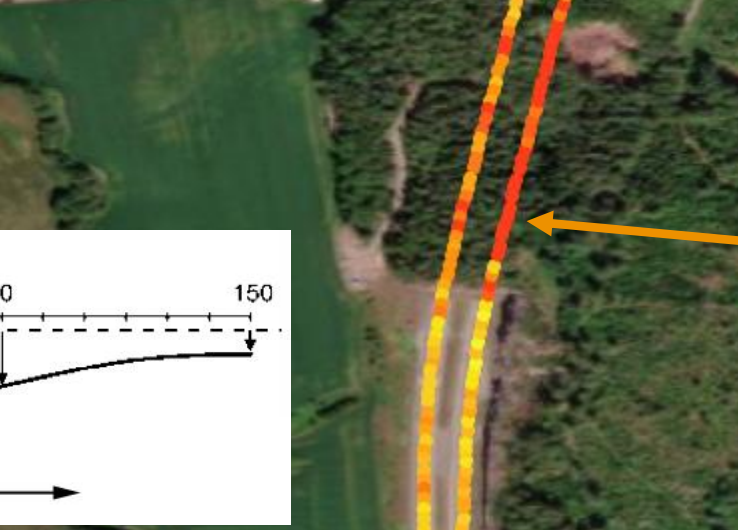


Foto: Rambøll

Hemtunnelen



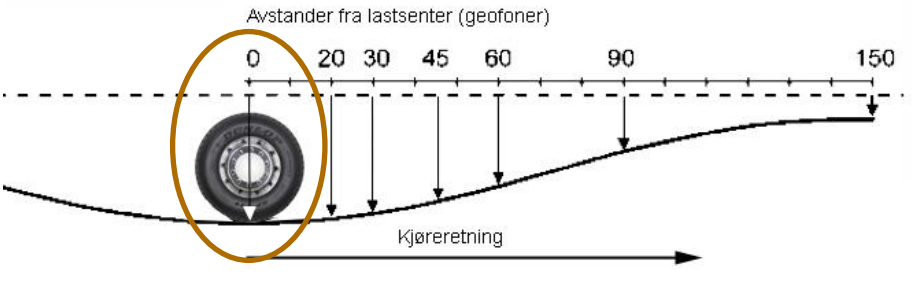
EV18 HP7 M2016 F3
27. aug. 2019 kl. 18:20



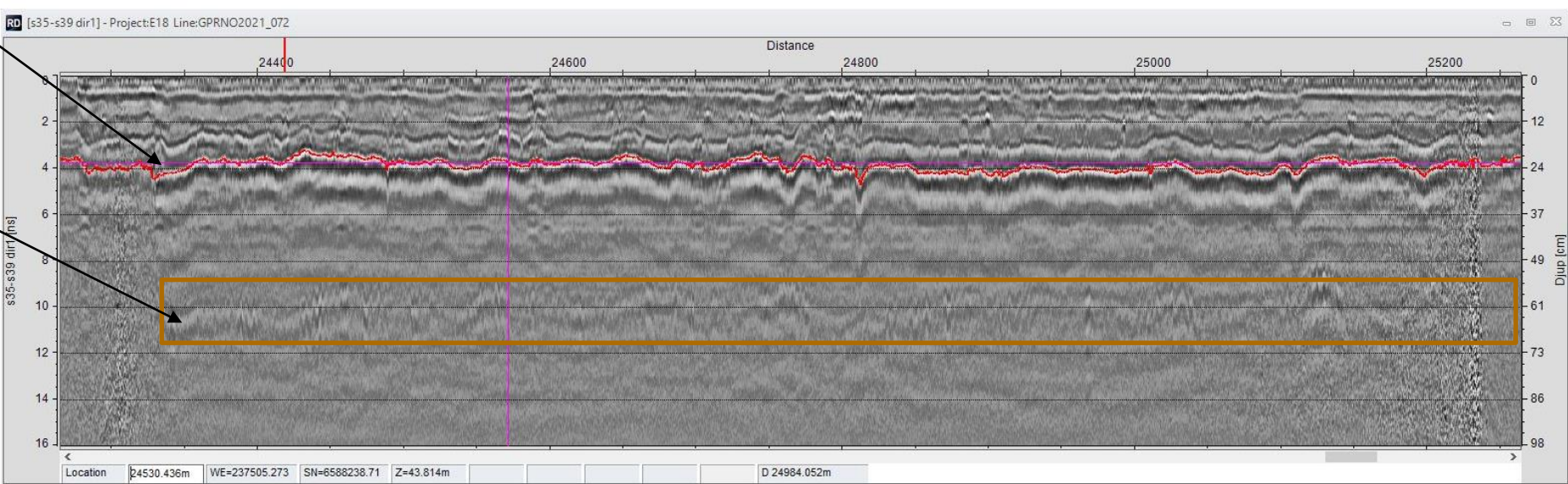
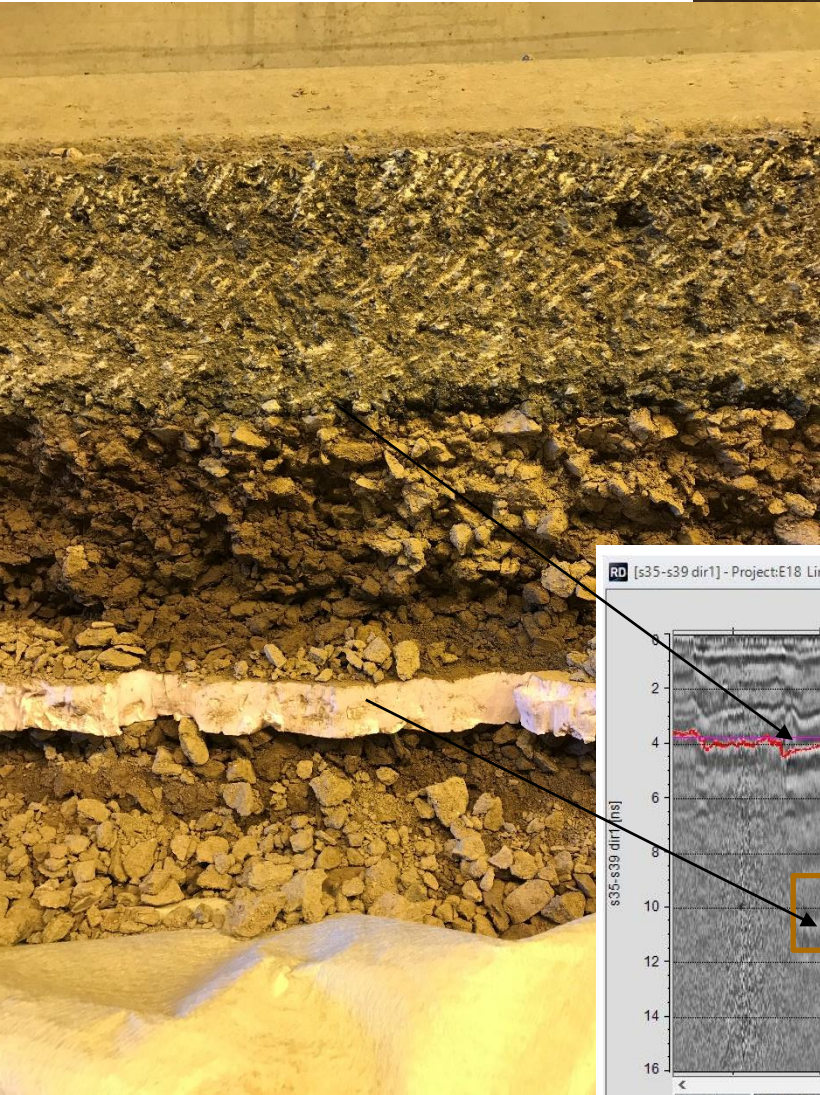
- D1
- 0-100
 - 100-200
 - 200-300
 - 300-350
 - 350-400
 - 400-450
 - 450-500
 - 500-550
 - 550-600
 - 600-650
 - 650-700
 - 700-750
 - 750-800
 - 800-900
 - 900-1000
 - 1000-1100
 - 1100-1200
 - 1200+



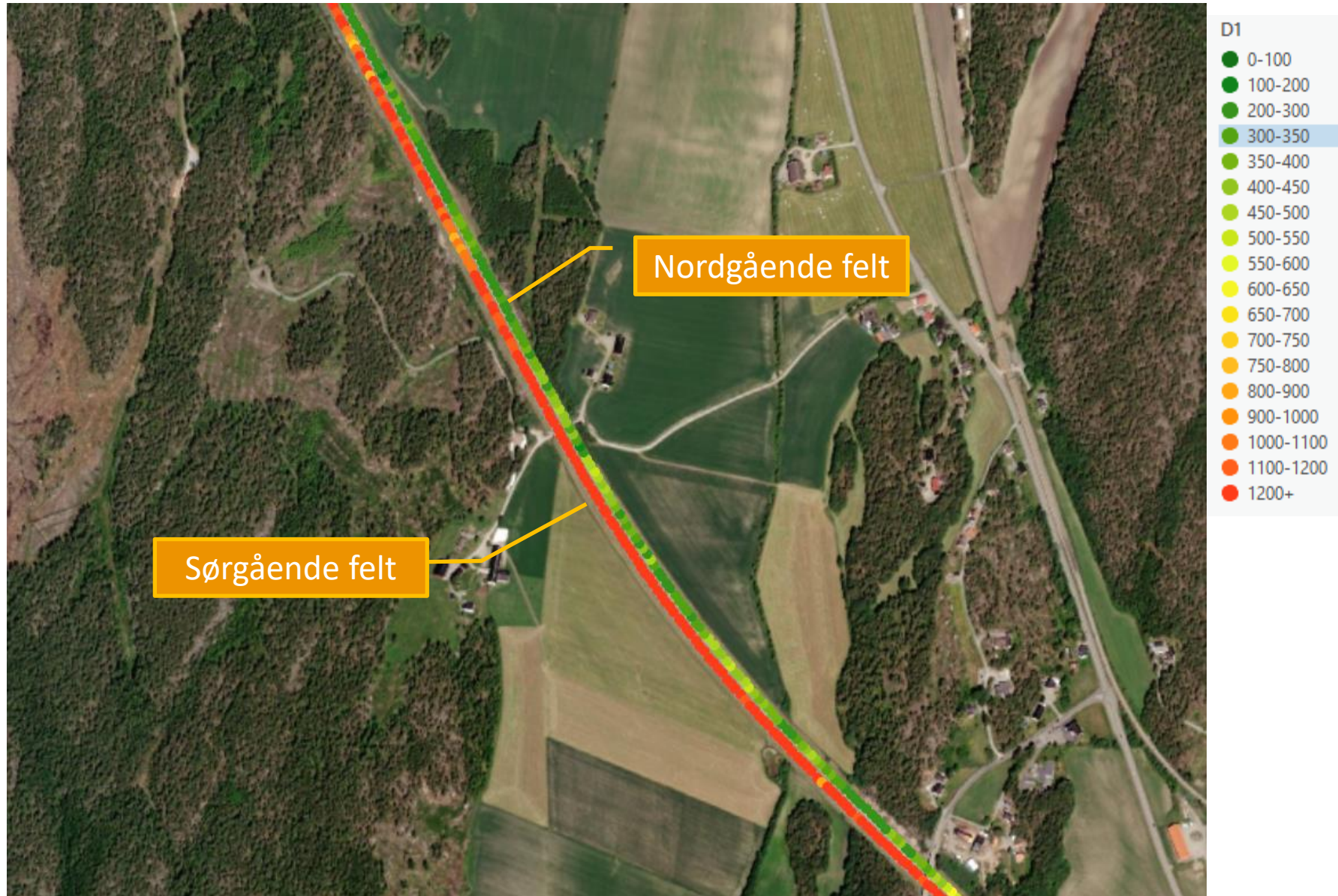
EV18 S39D1 M4479 F1
13. okt. 2021 kl. 10:20

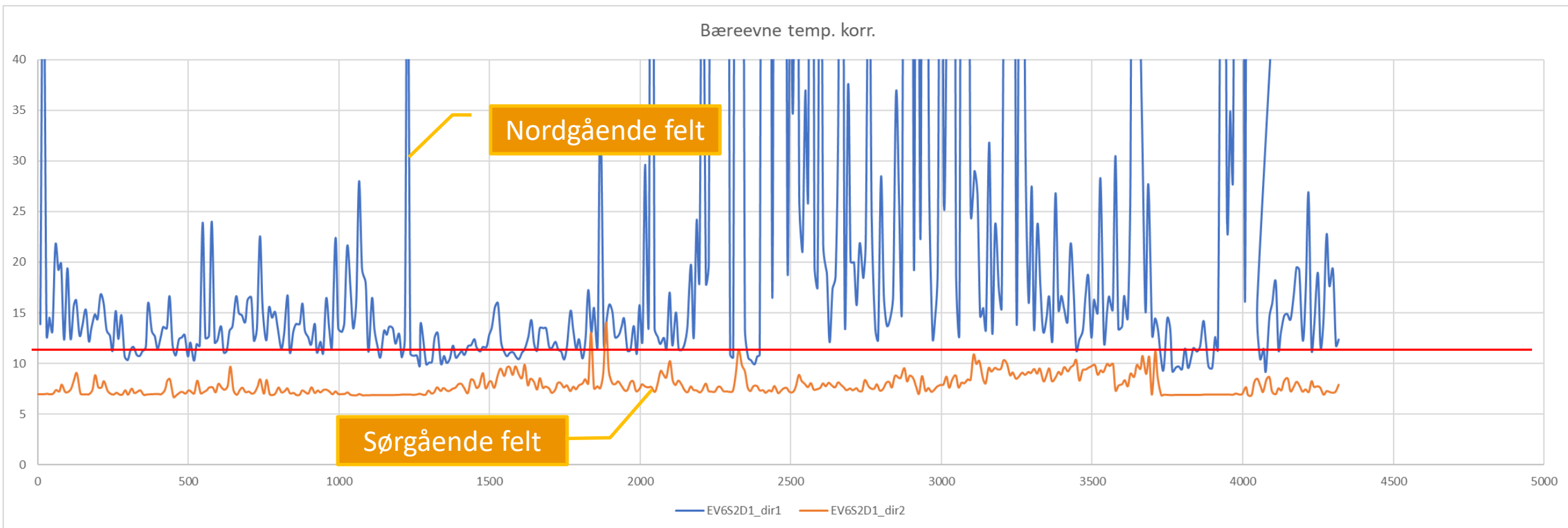


Oppgravinger og georadar

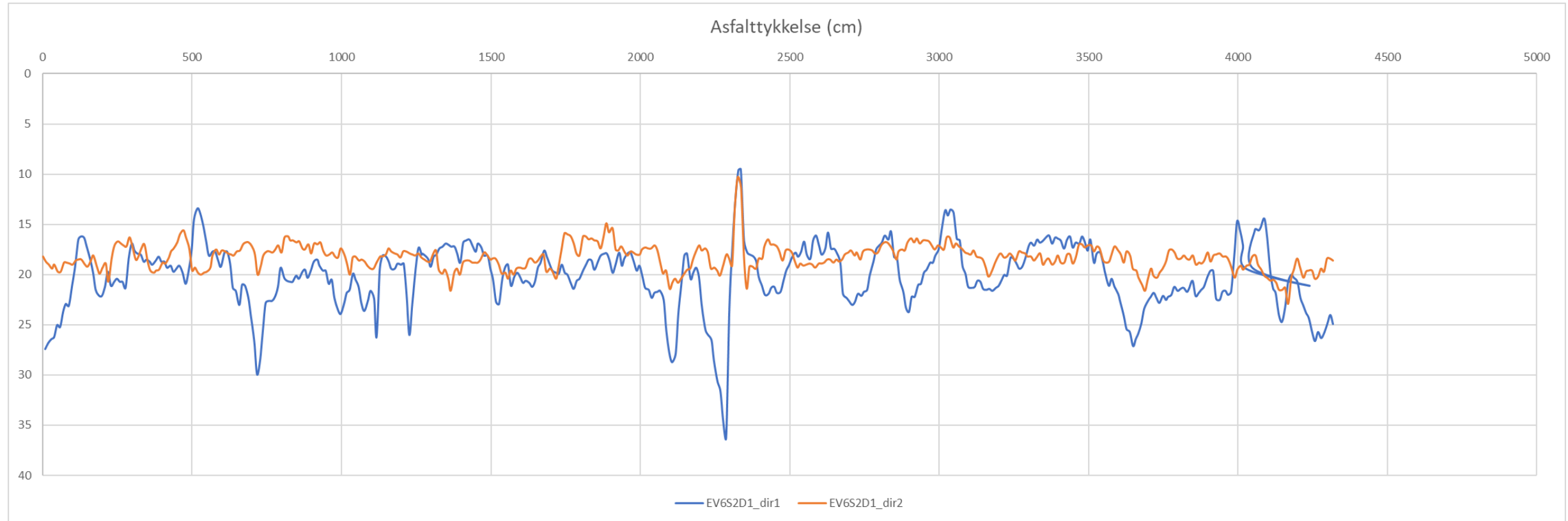


Eksempel på data: E6 Østfold

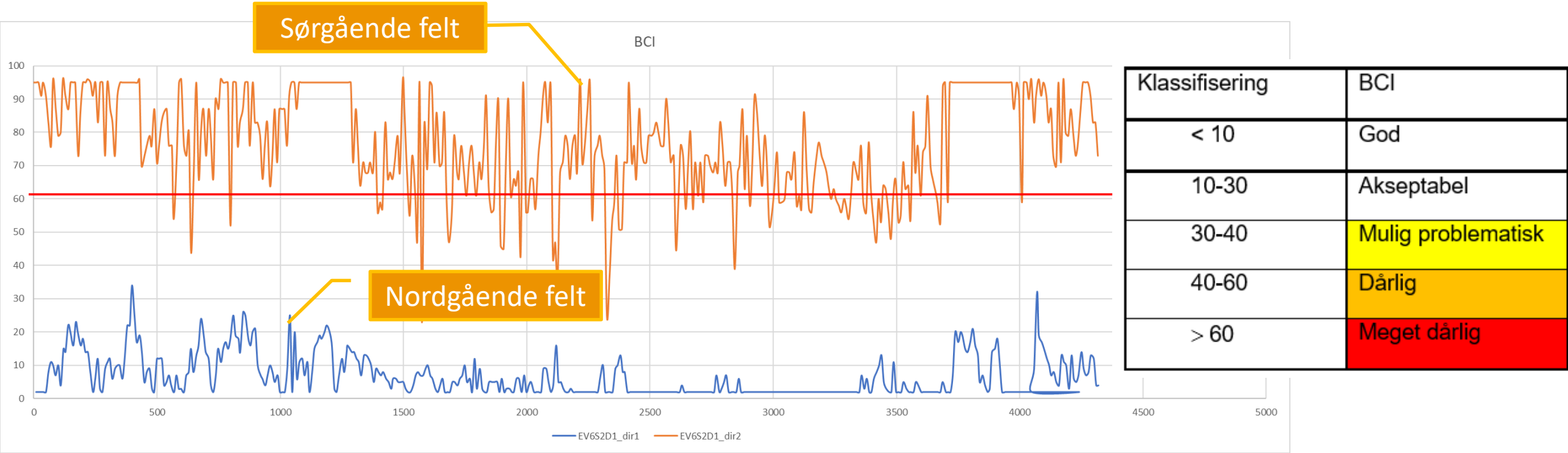




Asfalttykkelse



Styrke i nedre del av konstruksjonen



Hvordan går vegen videre?

- Videreutvikle dashboard med andre relevante data, for eksempel spor/jevnhhet, dekkeskader, drenering ++
- Hvordan utnytte data på best mulig måte?
- Data skal bli en del av grunnlaget for:
 - Strategisk vedlikehold, vedlikeholdsplanlegging
 - Langtidsplaner for forsterkning av veg
 - Innspill til NTP, langtidsprogram, årlige vedlikeholdsbudsjetter
- Kjøre bæreevnemålinger systematisk hvert 5.-7. år?
- Studentoppgaver på NTNU / FoU-prosjekter

TAKK FOR MEG!



Foto: Rambøll