

Sensorbaserad övervakning av rörelse i bergmassa och sprutbetong med distribuerad fiberoptik

Rasmus Rempling, Construction Engineering and Management
Fredagspresentation BBT – Trafikverket – 17 oktober 2025

Agenda



Introduktion

Filosofisk stund

Bakgrund och historik till projektet

Fredagsquiz

Huvudsakliga Projektresultat

Vad händer nu?





**August
Jansson**



**Carlos G.
Berrocal**



**Ignasi
Fernandez**



**Rasmus
Rempling**



**Andreas
Sjölander**

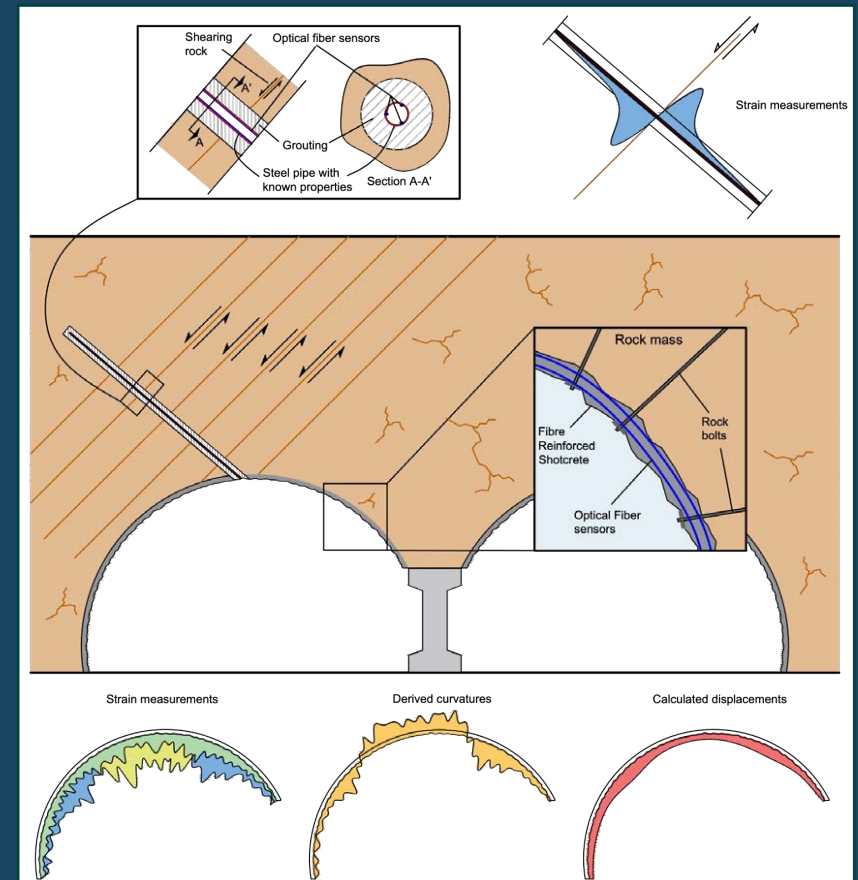
Forskningsprojekt



Syfte och mål

Projektet syftar till att främja tekniker för sensorbaserad övervakning av bergmassans rörelse och respons i sprutbetong.

Målet är att ta fram en sensor och implementera den i Västlänken etapp Haga



Vetenskapsfilosofi

Pragmatism (1900-tal – framåt)

John Dewey – kunskap är ett verktyg för handling.

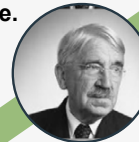
Lyfter fram etik, kreativitet och problemlösning i ingenjörsarbete.



Pragmatisk ingenjörsvetenskap (2000-tal – idag)

Bent Flyvbjerg – praktisk klokhet och värdebaserad teknik.

Integrerar teknik, samhälle och etik i modern ingenjörspraxis.



Logisk positivism (1920–1950-tal)

Rudolf Carnap – endast det som kan verifieras är meningsfullt.

Stärkte kopplingen mellan logik, matematik och mätdata.



Post-positivism (1950–1970-tal)

Karl Popper – vetenskap genom falsifiering och kritik.

Formade iterativ modellutveckling och hantering av osäkerhet.



Positivism (1800-tal – tidigt 1900-tal)

Auguste Comte – kunskap ska bygga på observation och mätning.

Grunden för empirisk ingenjörsmetodik och objektiva lagar.

Vetenskapsfilosofi

Epokernas syn på hållfasthet & bärighet, matematiska modeller och verifiering



Positivism

Hållfasthet ses som en objektiv, mätbar egenskap hos material och strukturer. Modeller är direkta speglingar av verkligheten – matematiska uttryck för naturlagar. Verifiering sker genom överensstämmelse mellan teori och observation; mätfel ses som slumpmässiga.



Logisk positivism

Bärförmåga förstås som relationer mellan observerbara storheter (last, deformation, spänning). Modeller är logiska system av verifierbara samband mellan mätdata. Endast modeller som kan empiriskt bekräftas eller logiskt härledas betraktas som meningsfulla.



Post-positivism

Hållfasthet är ett teoriberoende antagande med osäkerhet; värden påverkas av modellval. Modeller är hypoteser som tolkas och testas – t.ex. FEM och sannolikhetsmodeller. Verifiering ersätts av falsifiering och modelltestning



Pragmatism

Hållfasthet ses som funktionell tillförlitlighet – en konstruktion är stark nog om den fungerar i sitt sammanhang. Modeller är verktyg som utvärderas utifrån nytta, enkelhet och användbarhet. Verifiering är praktisk och erfarenhetsbaserad.



Pragmatisk ingenjörsvetenskap

Bärförmåga är adaptiv och kontextuell, formad av material, miljö och mänsklig tolkning. Modeller är digitala och lärande system – t.ex. digitala tvillingar och bayesianska uppdateringar. Verifiering blir kontinuerlig kalibrering mot mätdata; teori och praktik samspelar dynamiskt.

Vetenskapsfilosofi

Pragmatisk ingenjörsvetenskap

- **Sammanfattning**
- **ULS** representerar *den klassiska, positivistiska idén* om **materiell säkerhet**: konstruktionen får inte kollapsa.
- **SLS** representerar *den pragmatiska idén* om **funktionell kvalitet**: konstruktionen ska upplevas som fungerande.
- Tillsammans utgör de en **dualism mellan fysik och värde**, mellan naturvetenskap och mänsklig erfarenhet.
- I den moderna, **pragmatiska ingenjörsvetenskapen**, ses dessa två inte längre som fasta gränser – utan som **kontinuerligt uppdaterade tillstånd** i ett levande system, där säkerhet och funktion samexisterar och balanseras över tid.

Begrepp	Teknisk definition	Typiska kriterier
Serviceability Limit State (SLS)	Gränsen där konstruktionen inte längre fungerar tillfredsställande i bruk	Nedböjning, sprickbredd, vibrationer, deformationer, estetisk påverkan.
Ultimate Limit State (ULS)	Gränsen där konstruktionen förlorar sin bärförmåga – <i>collapse, fracture, instability.</i>	Böjbrott, plastisk kollaps, knäckning, brott i fog, överbelastning.



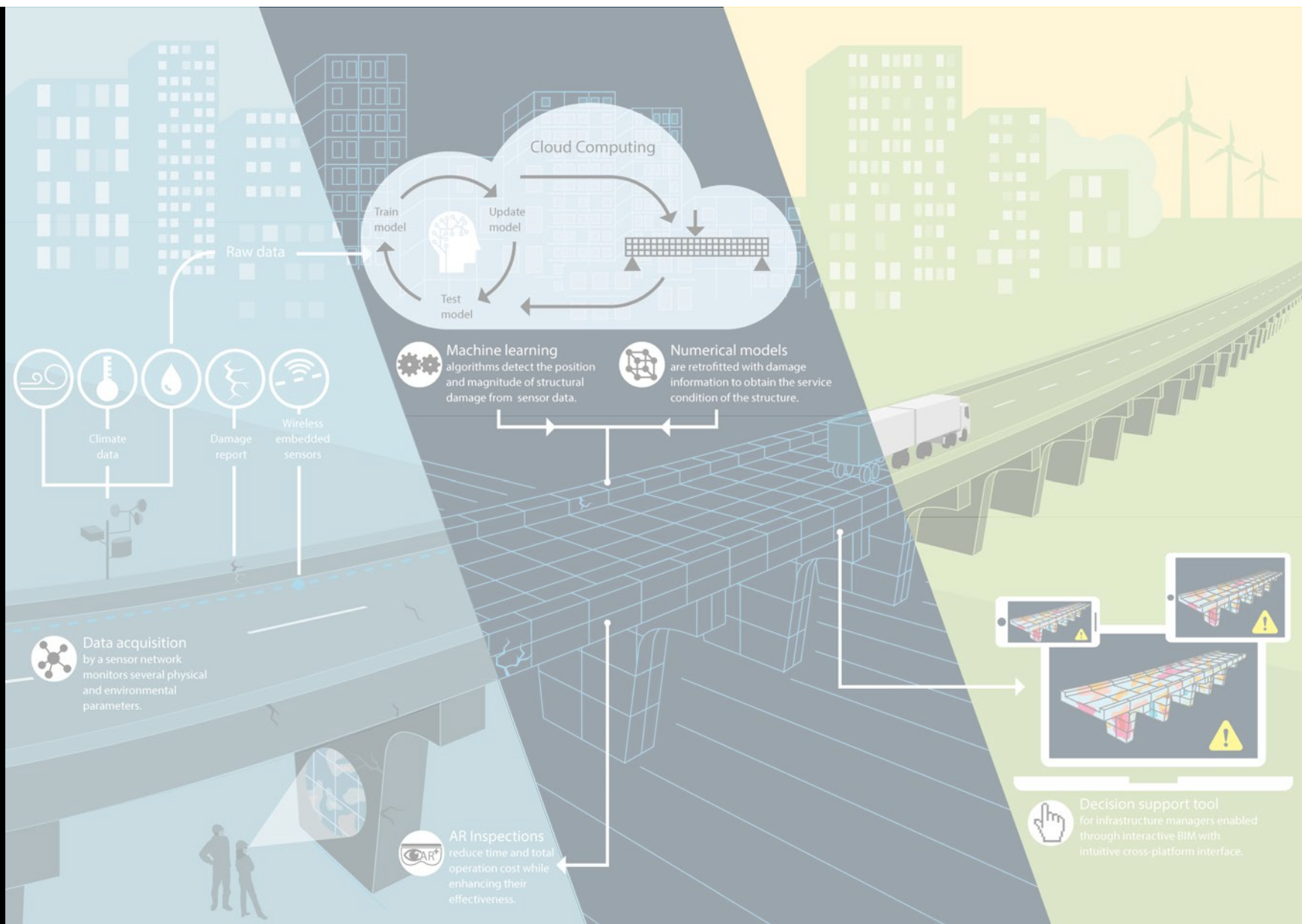
Vetenskapsfilosofi

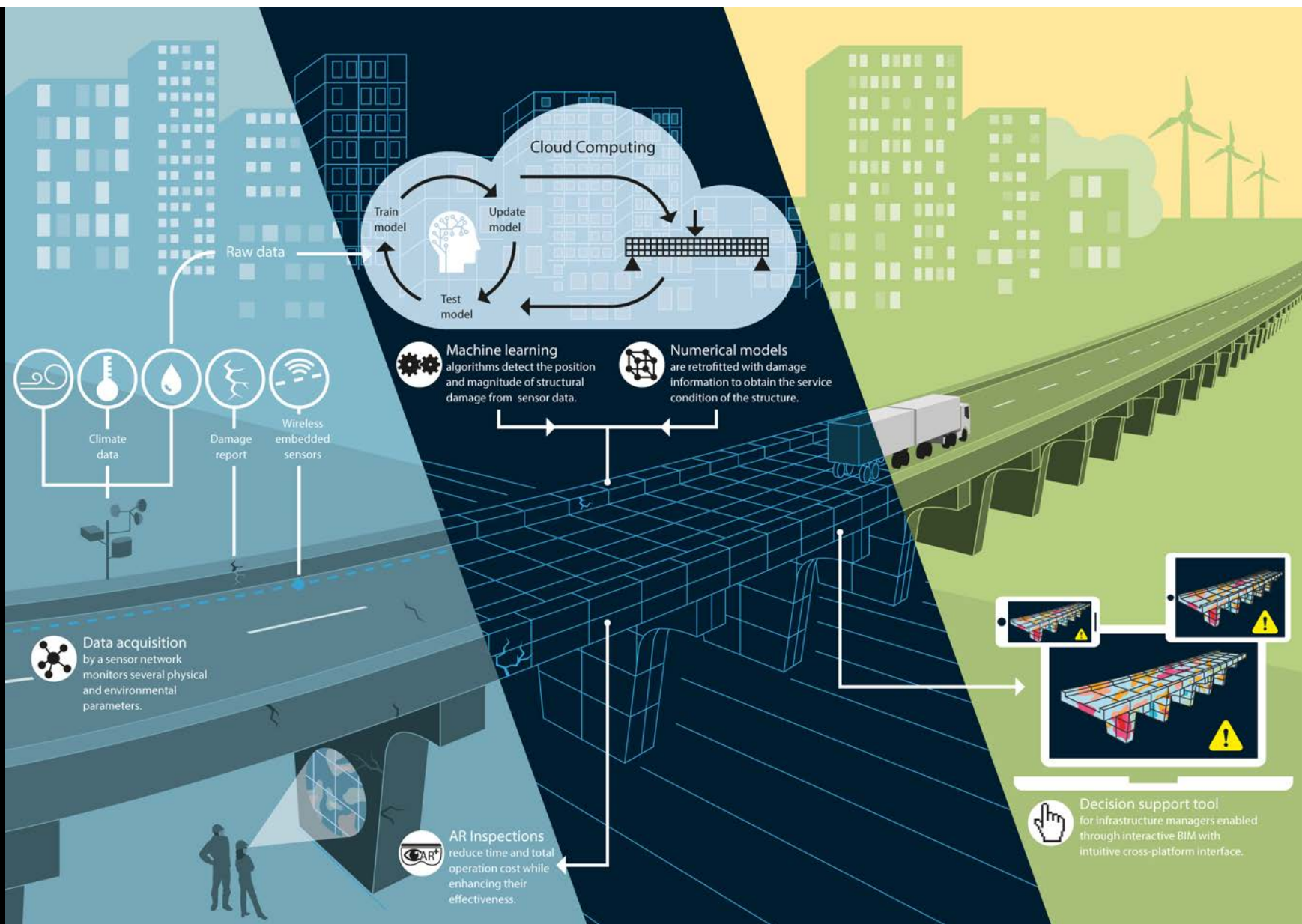
Exempel (bro- och byggingenjörsvetenskap)



sensit







Data Acquisition

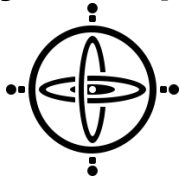


Data acquisition – Sensor Technology

accelerometer



gyroscope



e-compass



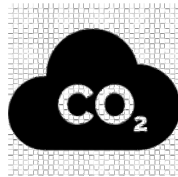
temperature



humidity



Carbon dioxide



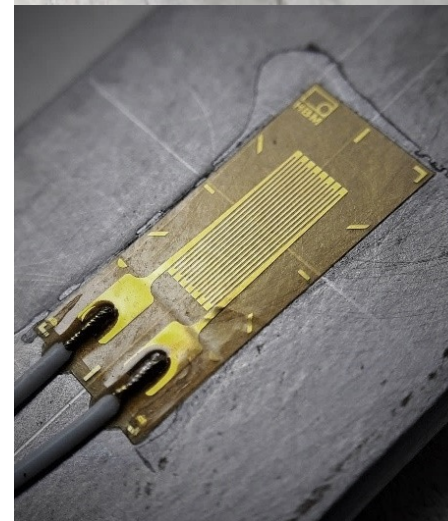
pressure



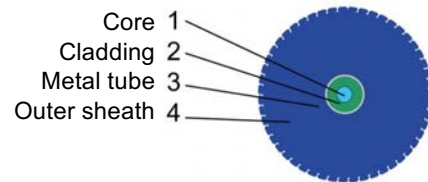
strain



load



Sensor deployment – Sensor type and installation method



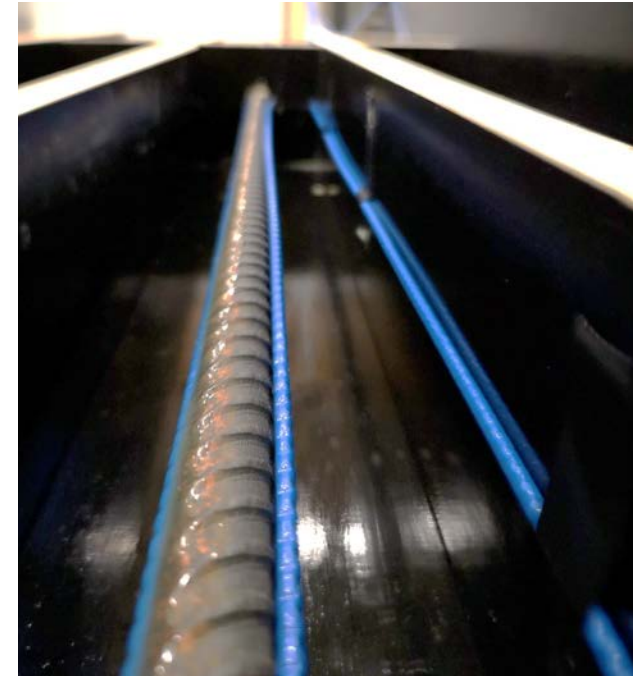
Different types of fiber



Different deployment methods



Different depths

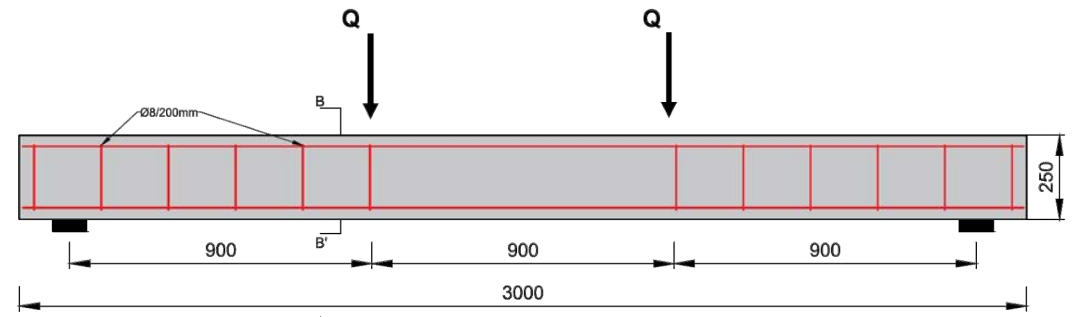
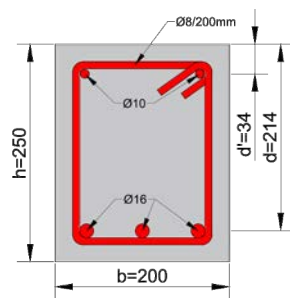
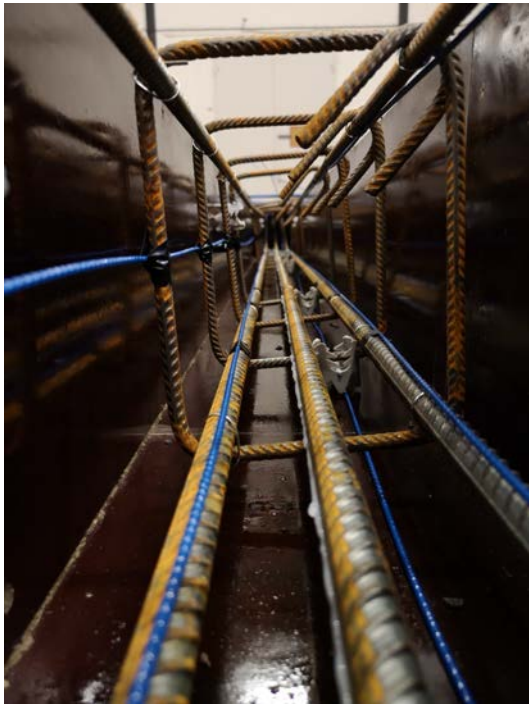


Data analysis

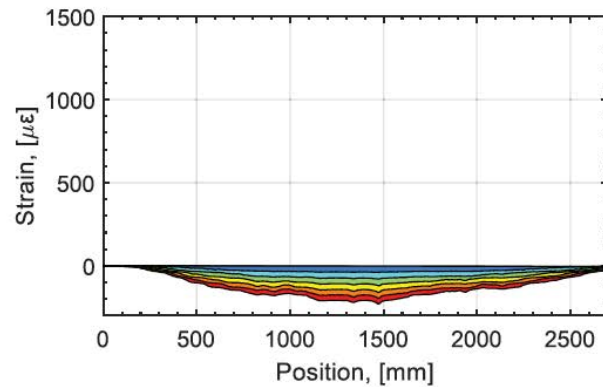


Long-term tests – Edge beams

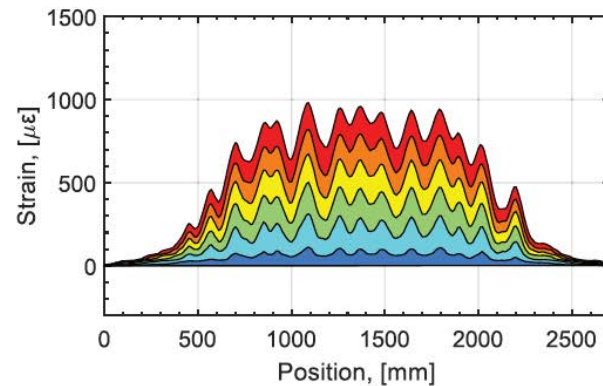
- Geometry and sensor deployment



DOFS data analysis - Deflections

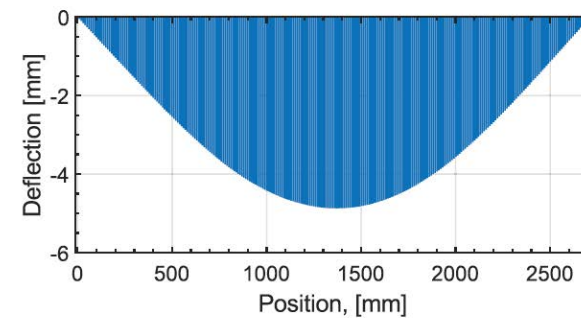
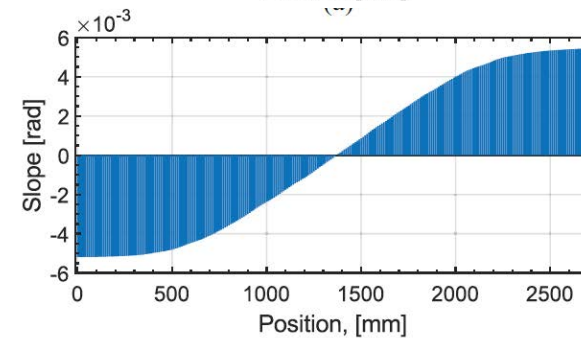
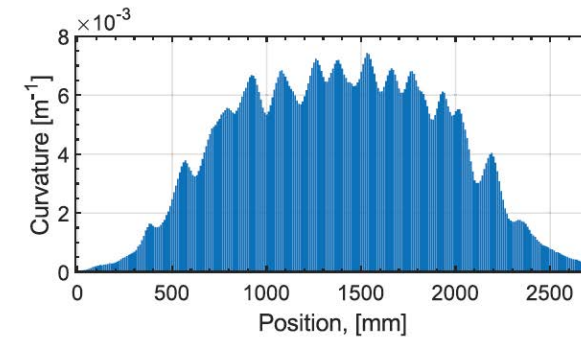
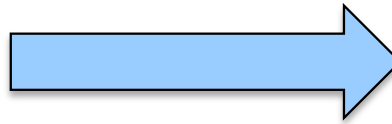


(b) top

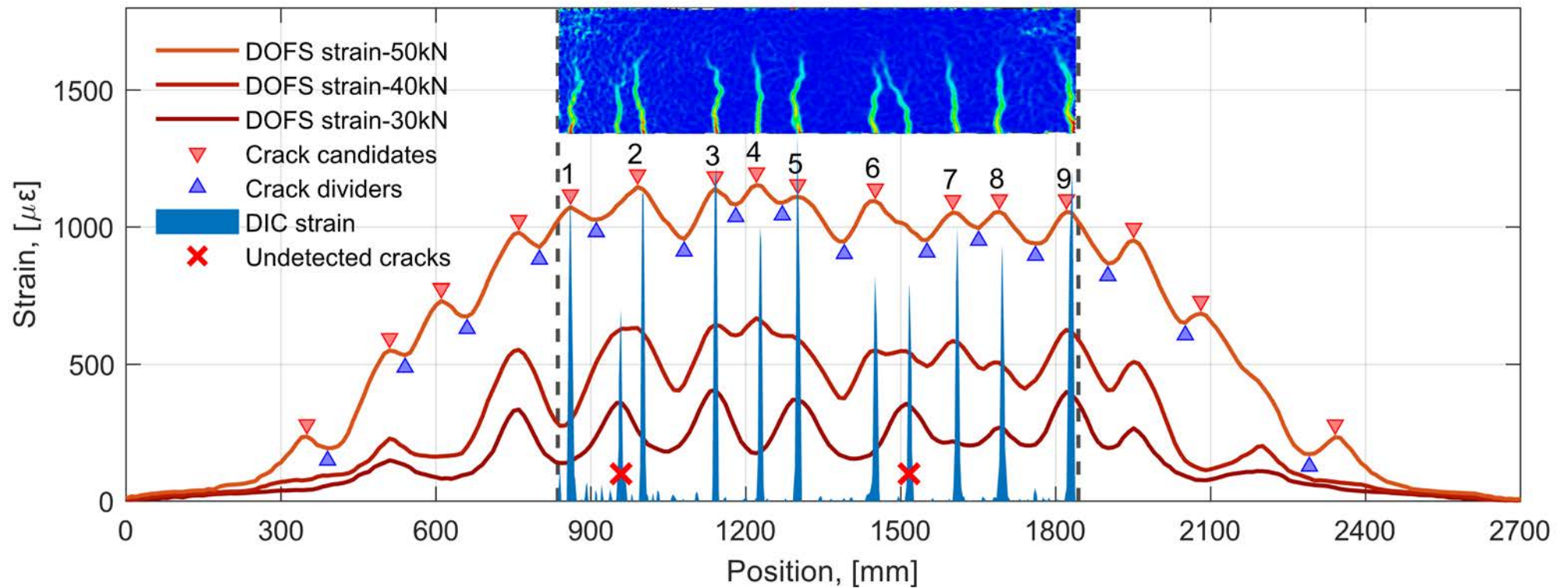


(a) bar1

Assuming the strain
profile is linear



DOFS data analysis – Crack detection

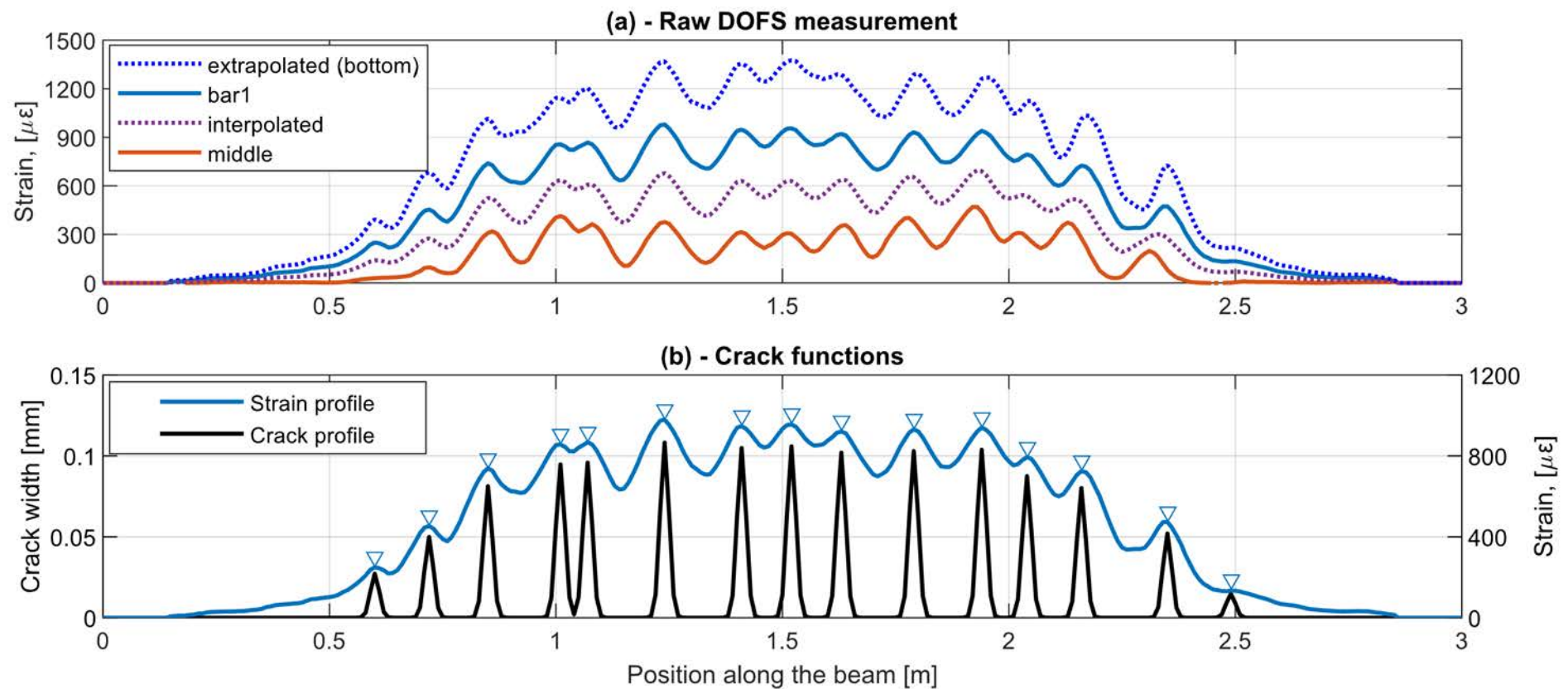




Data Visualization

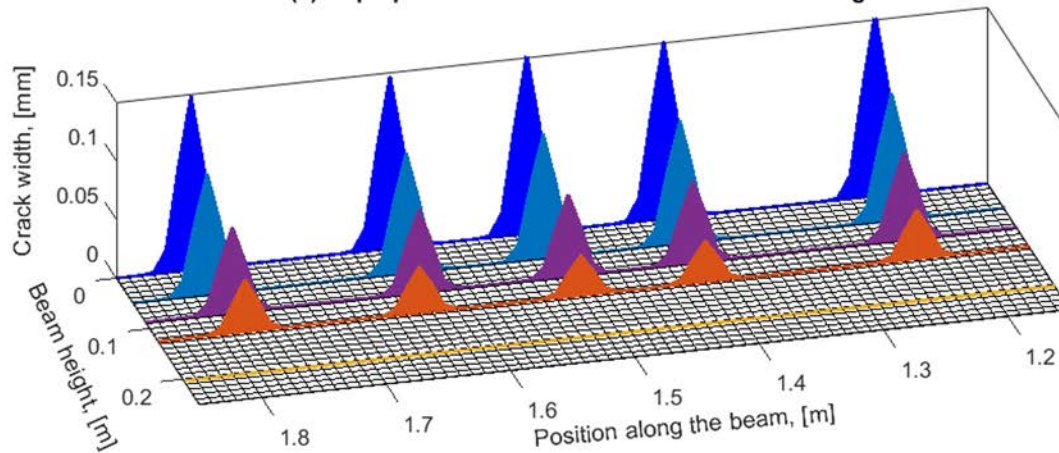


DOFS data visualization – crack profiles

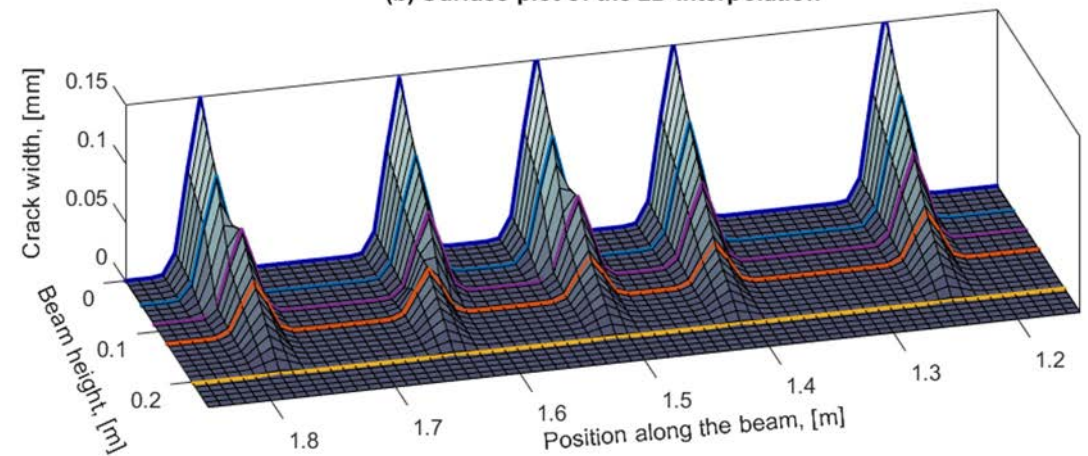


DOFS data visualization – Surface interpolation

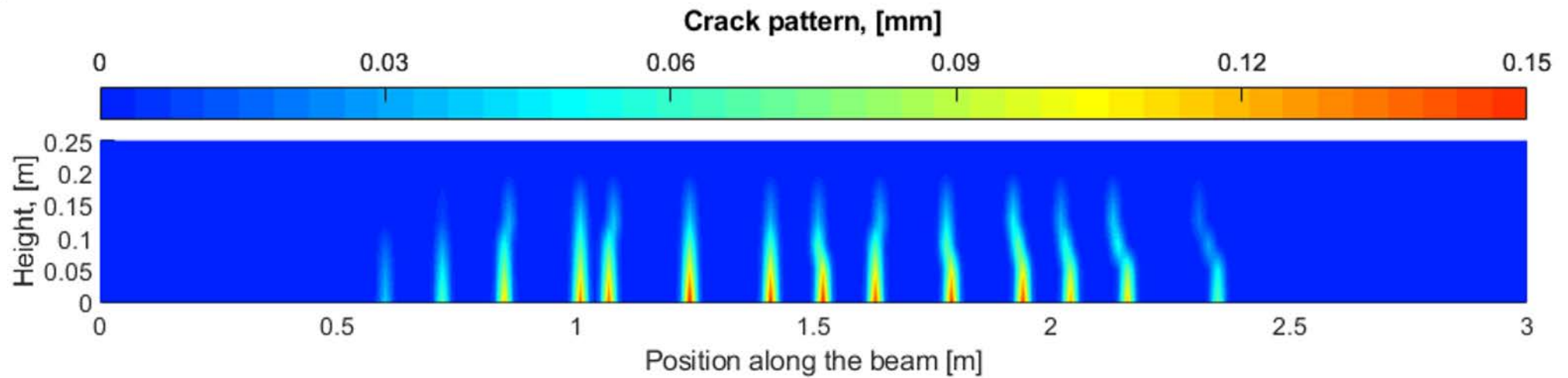
(a) Superposition of crack functions on the mesh grid



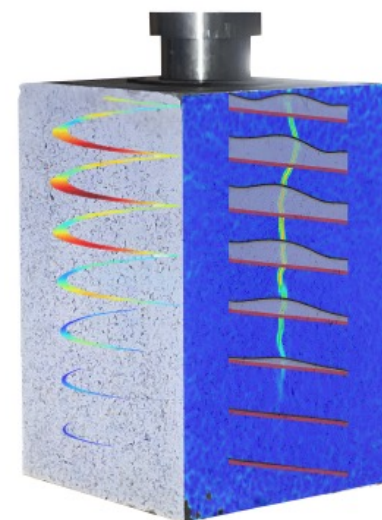
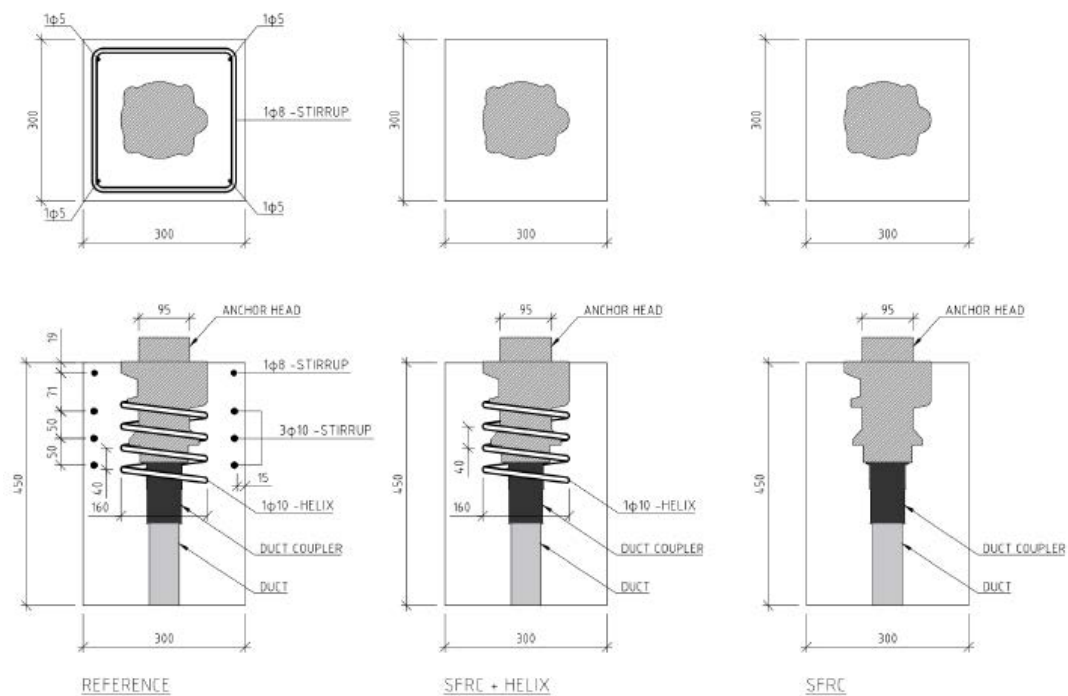
(b) Surface plot of the 2D interpolation



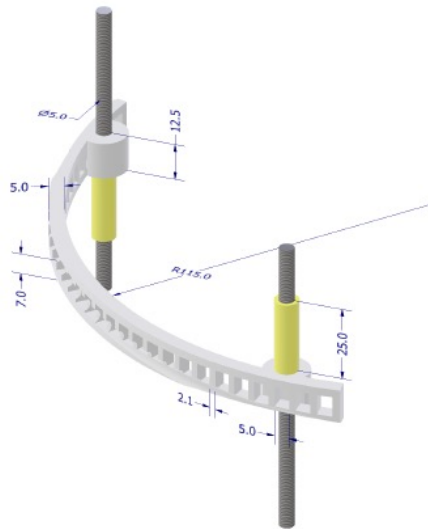
DOFS data visualization – Crack map



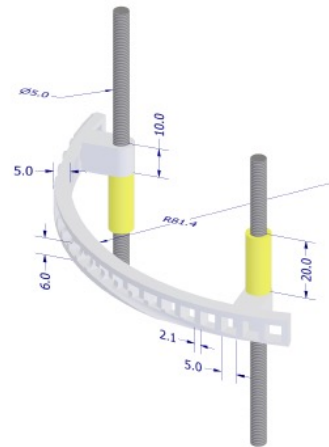
Evaluation of anchoring zones



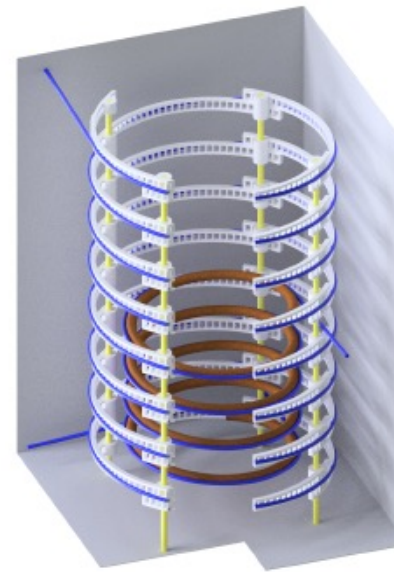
Evaluation of anchoring zones



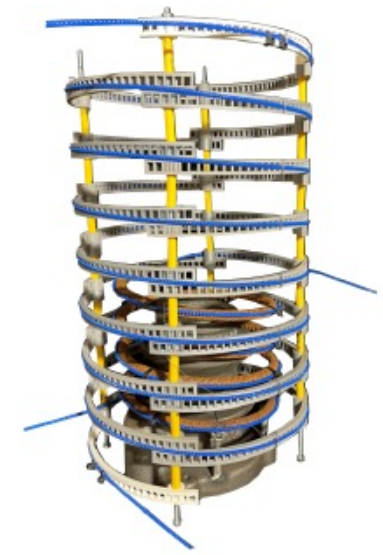
(a) Outer quarter



(b) Inner quarter

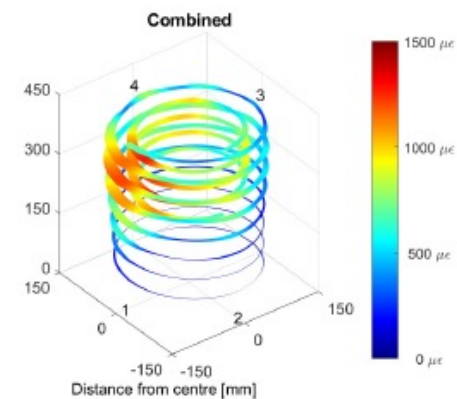
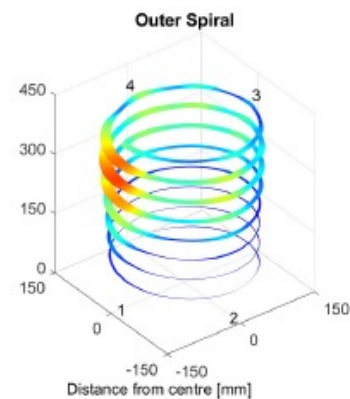
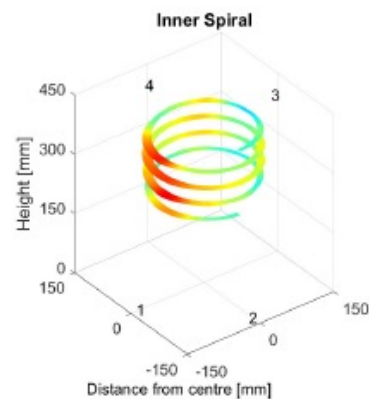
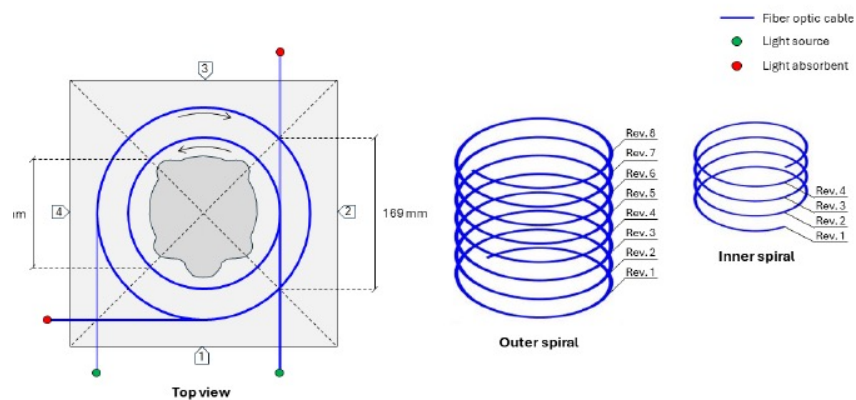


(a) Model rendering

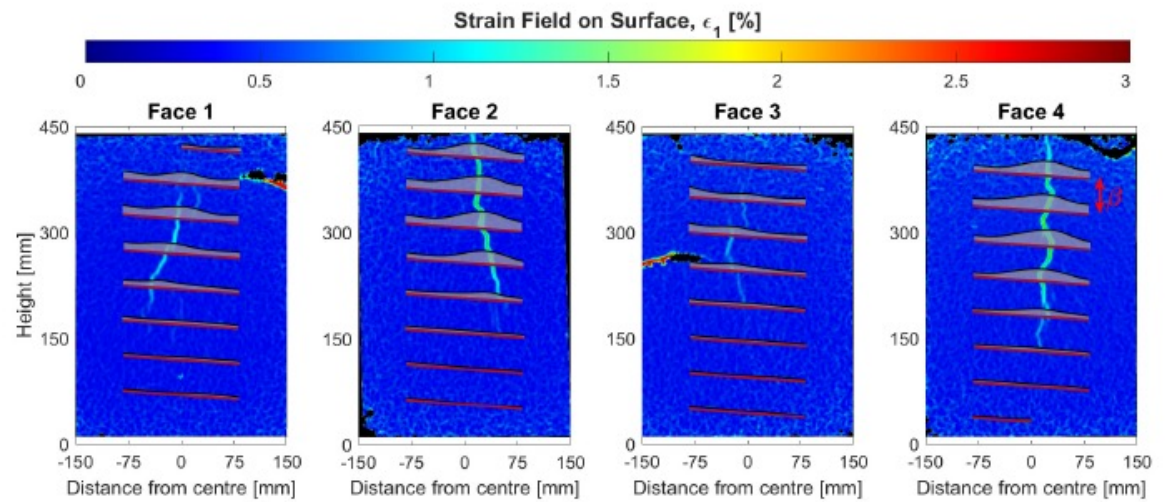
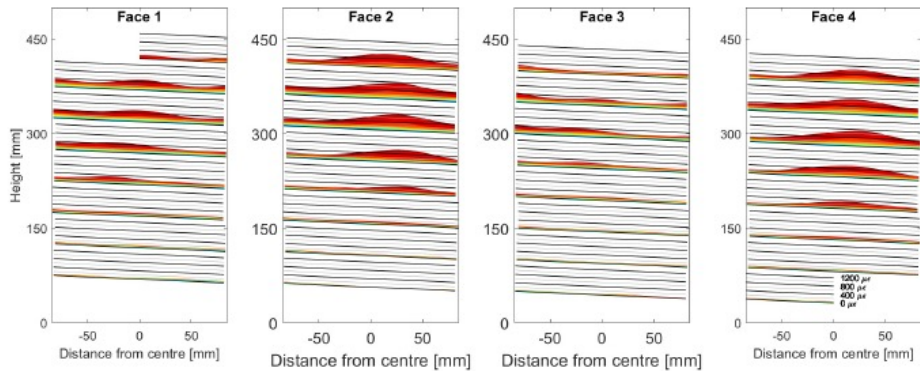
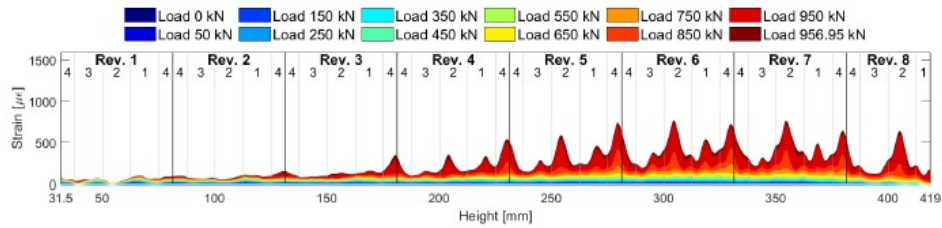


(b) Final design without duct

Evaluation of anchoring zones



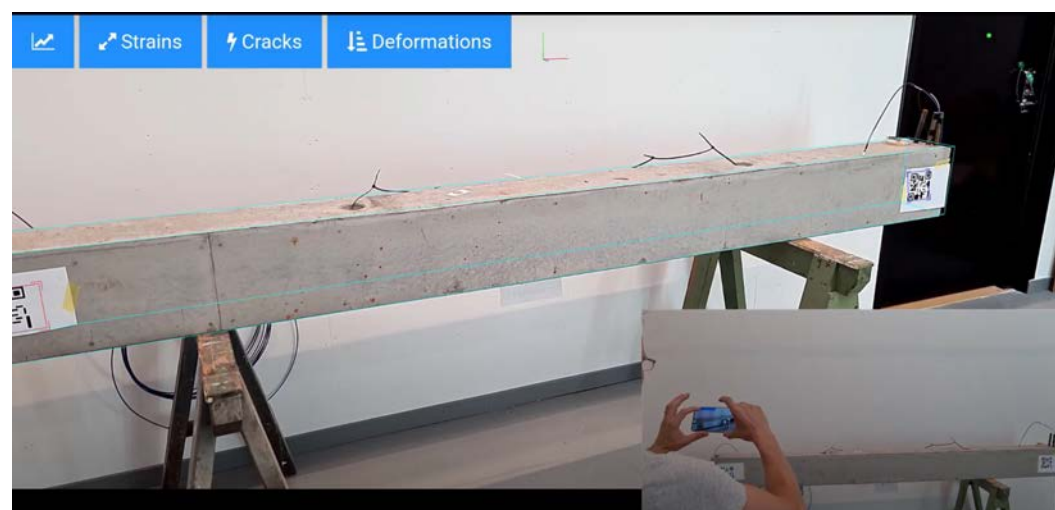
Results



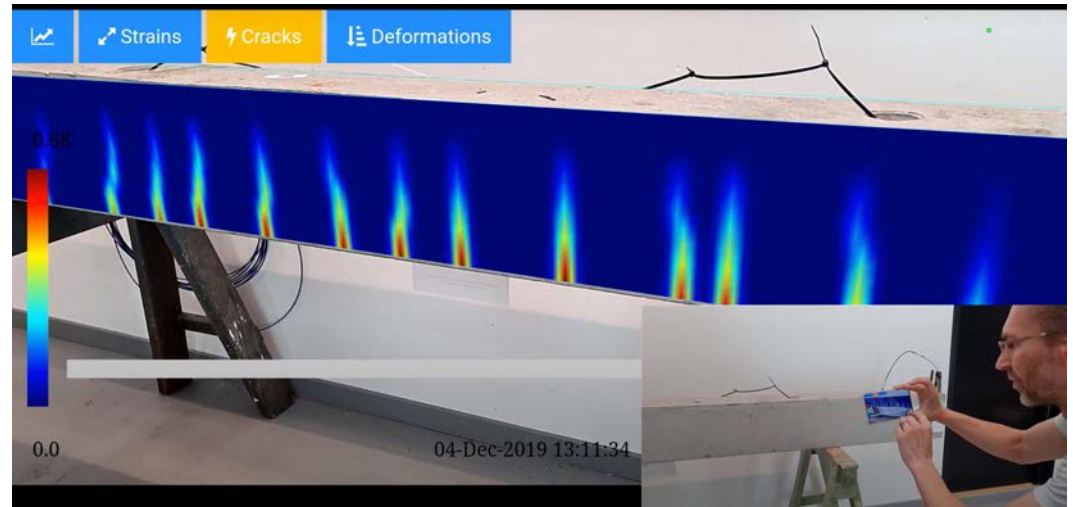
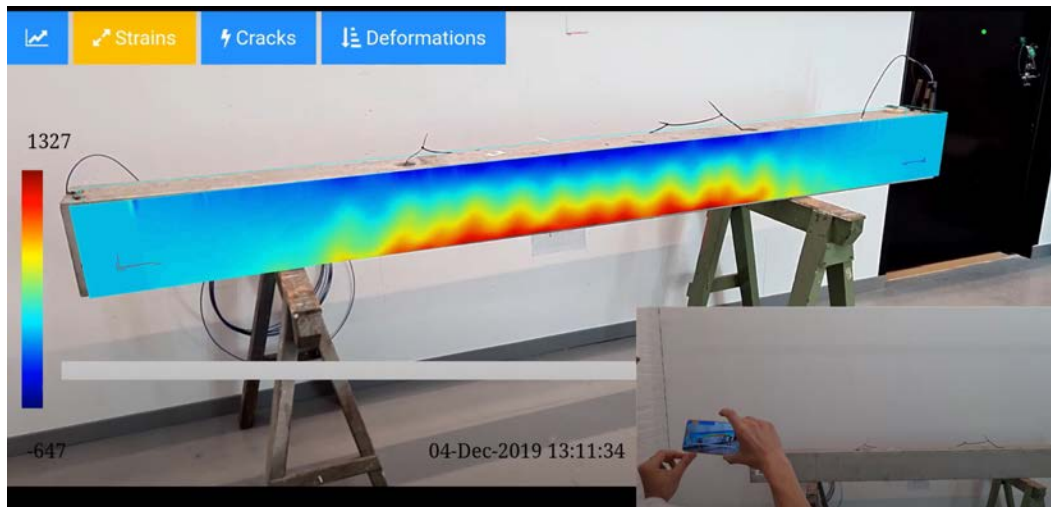
Augmented information



Augmented Reality för att tolka tillståndet



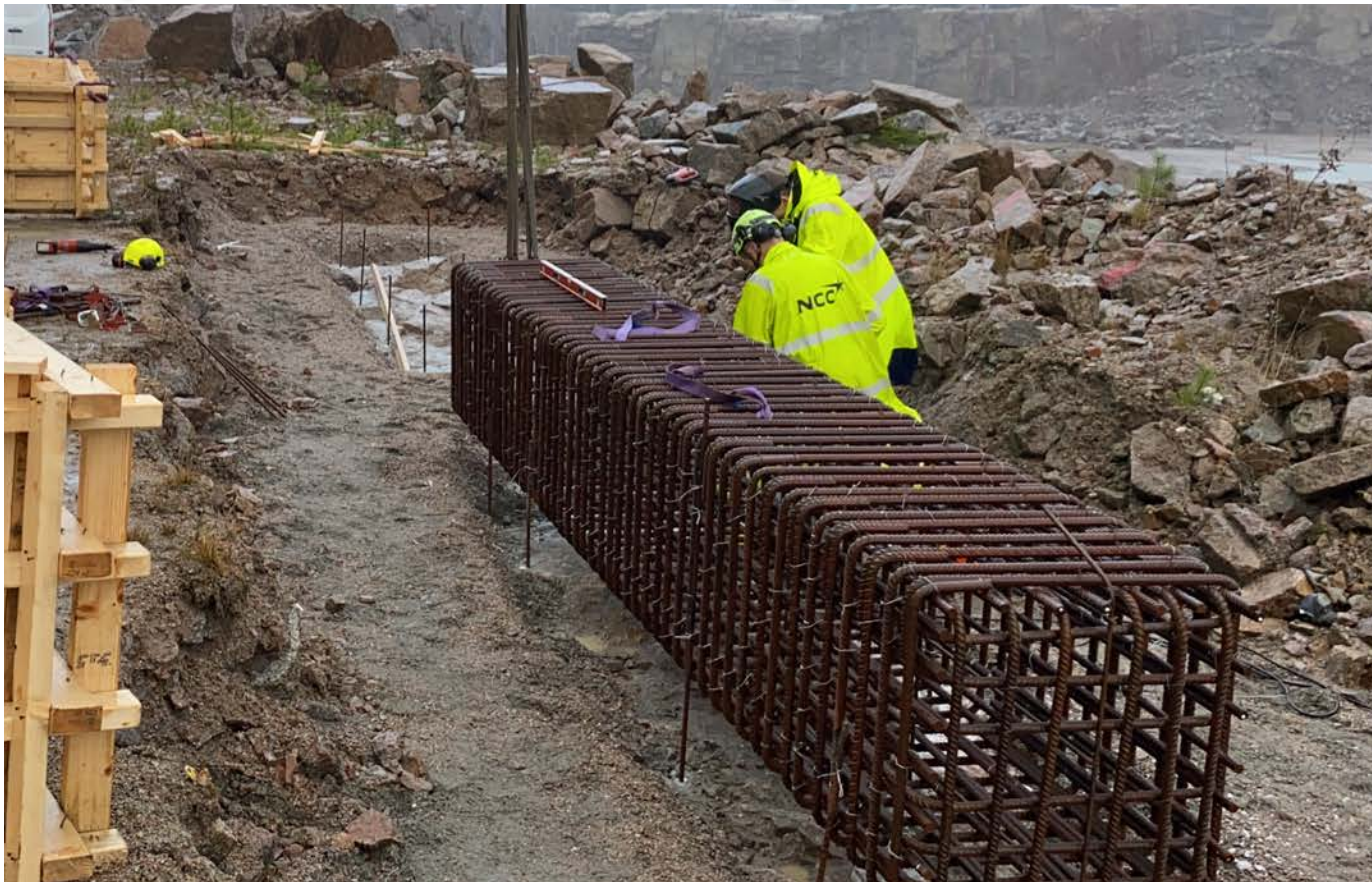
Augmented Reality for enhanced on-site inspection

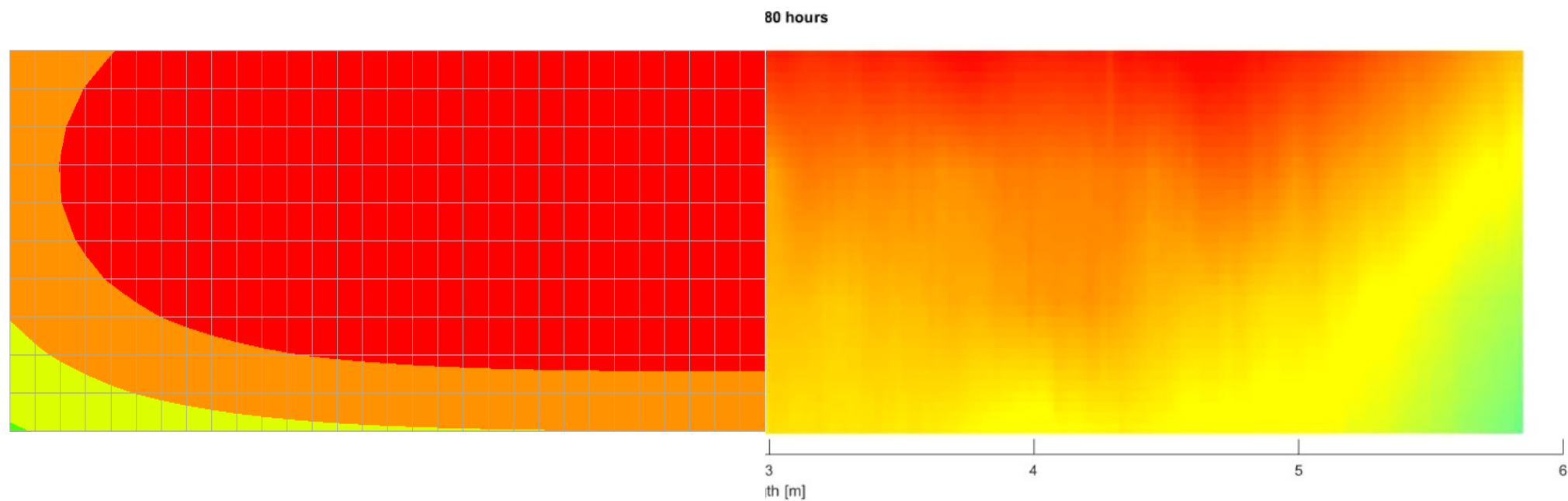


Pilotförsök

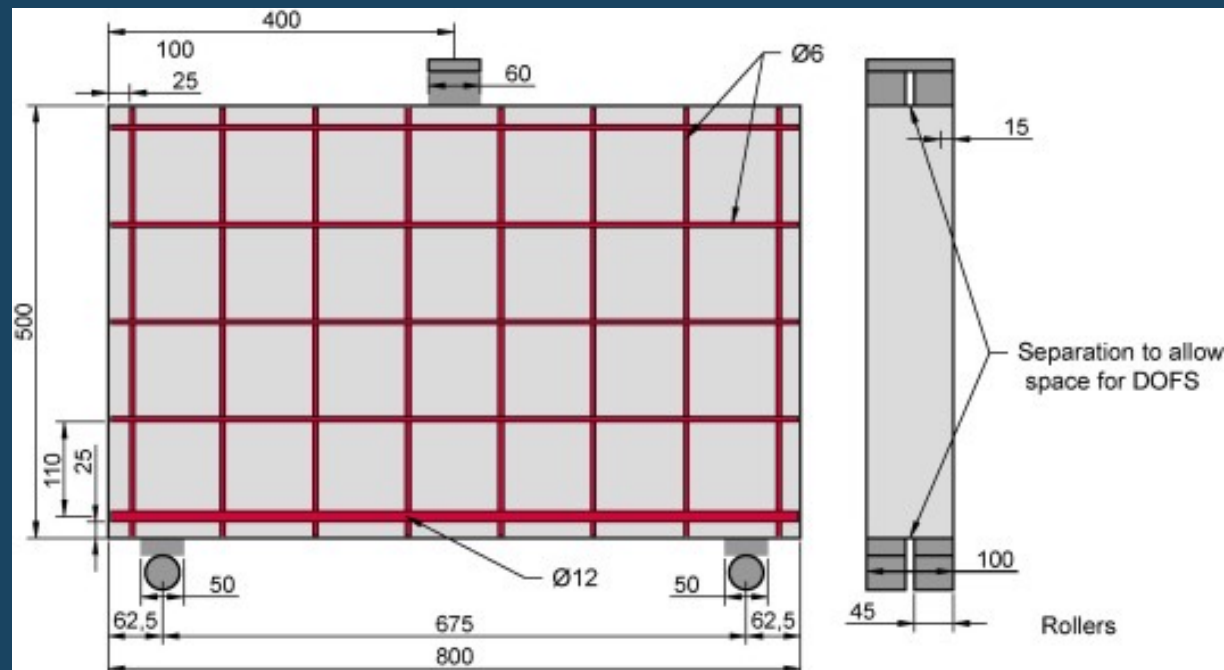


Field test – Temperature induced cracking

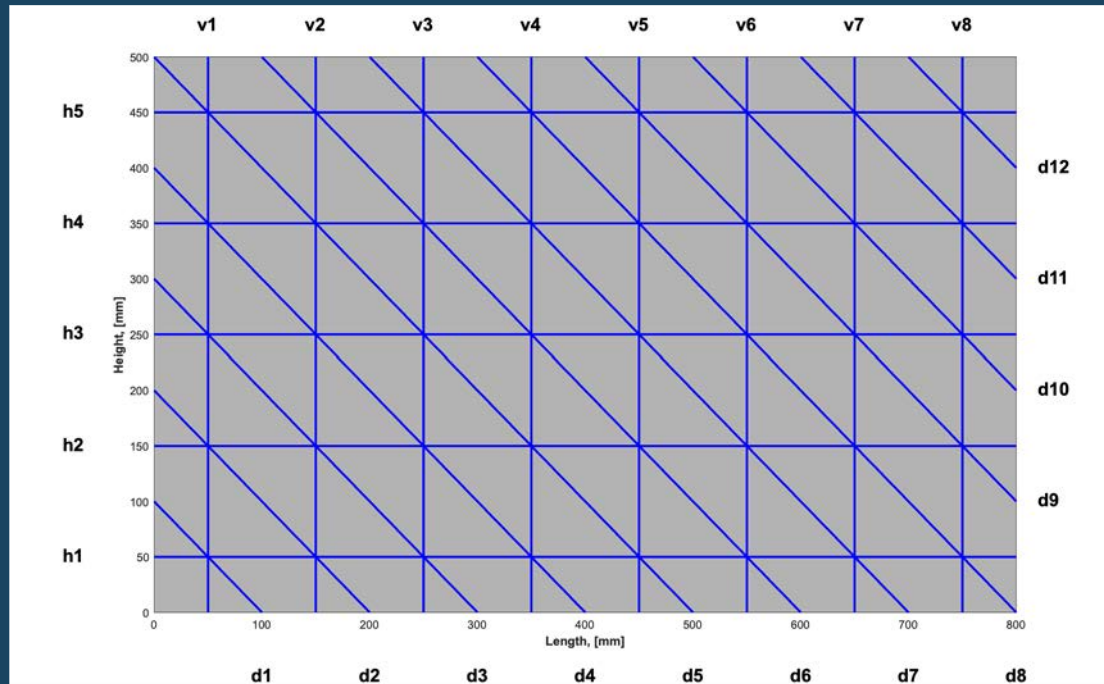




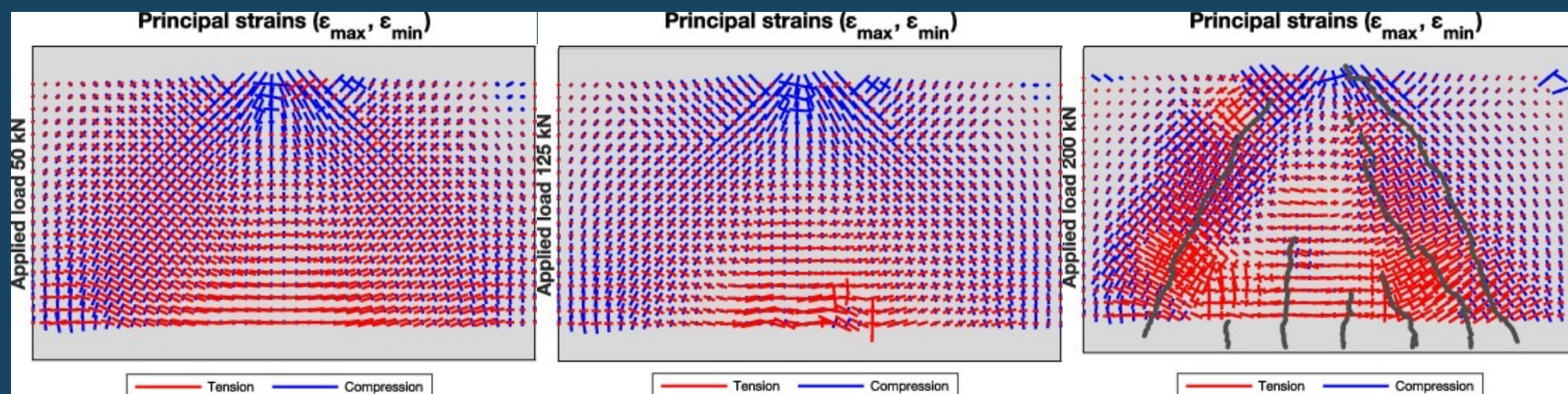
Experiment – D-zon



Fiberplacering



Principiella töjningar

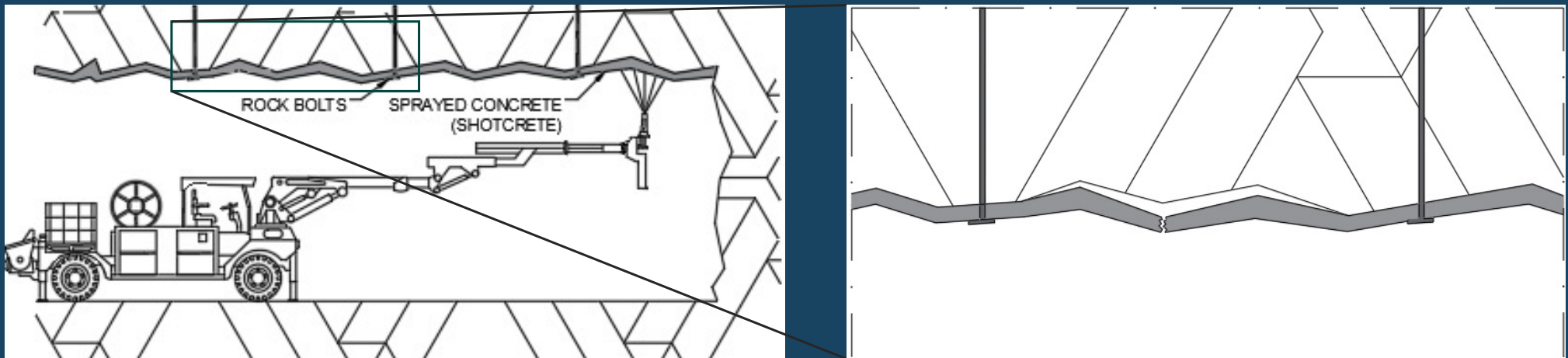


Fredagsquiz

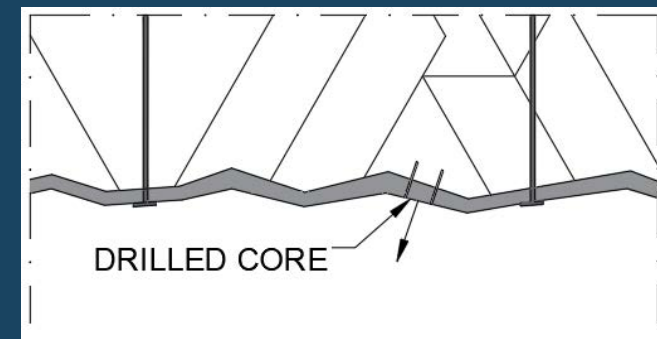
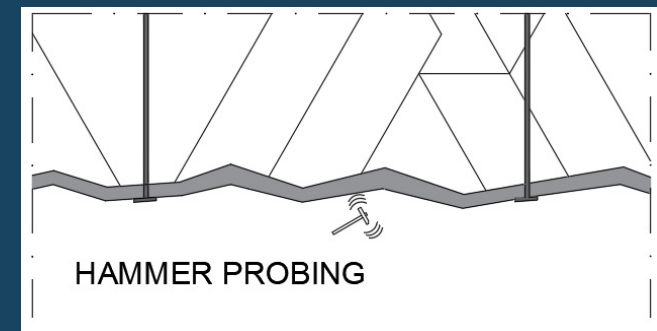
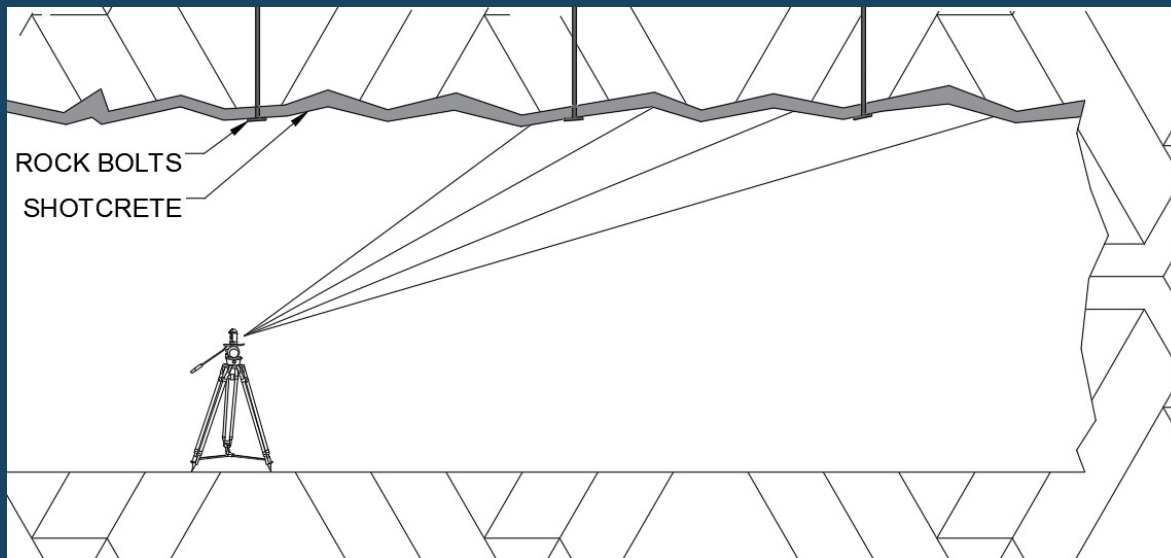


Sensorbaserad övervakning av rörelse i bergmassa och sprutbetong med distribuerad fiberoptik

Tunnelling in hard rock conditions

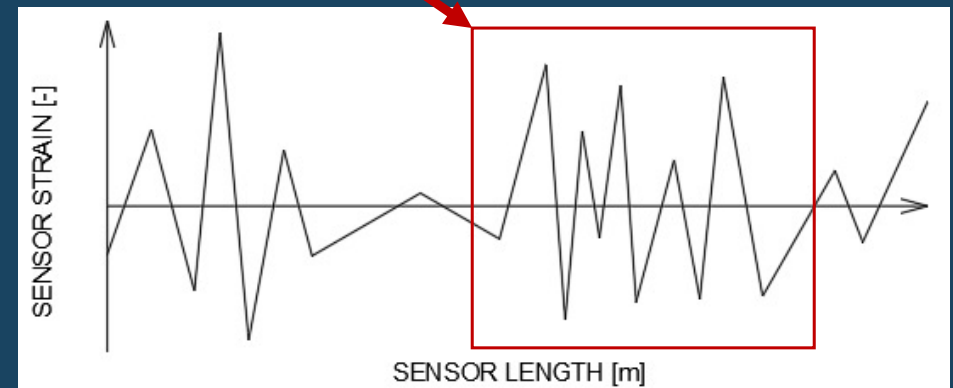
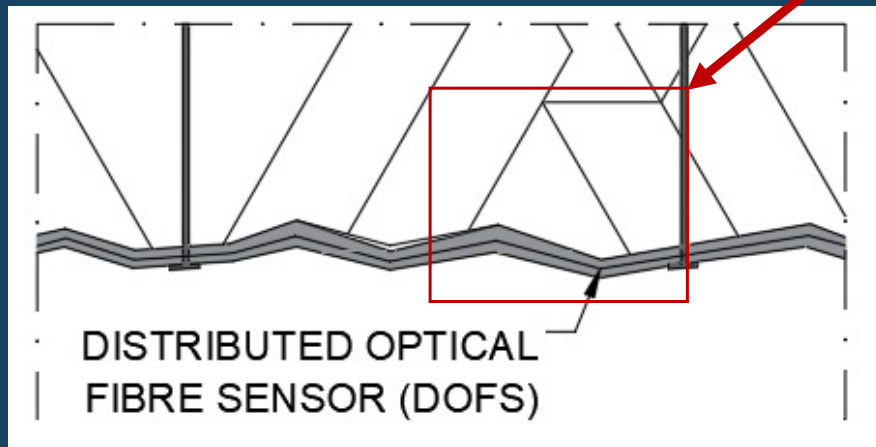


Common assessment methods

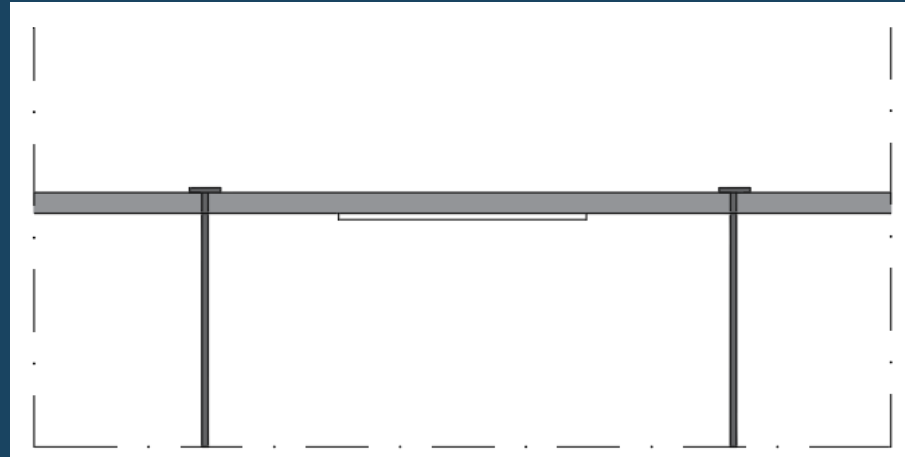
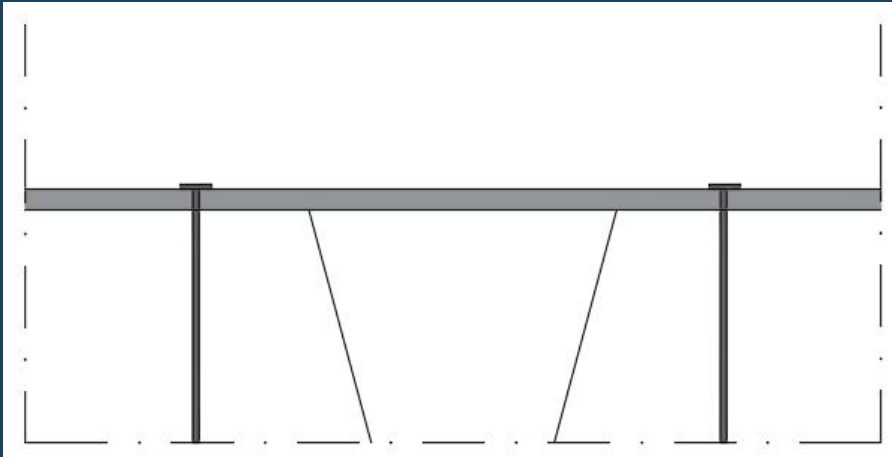


Proposed method

Load identification

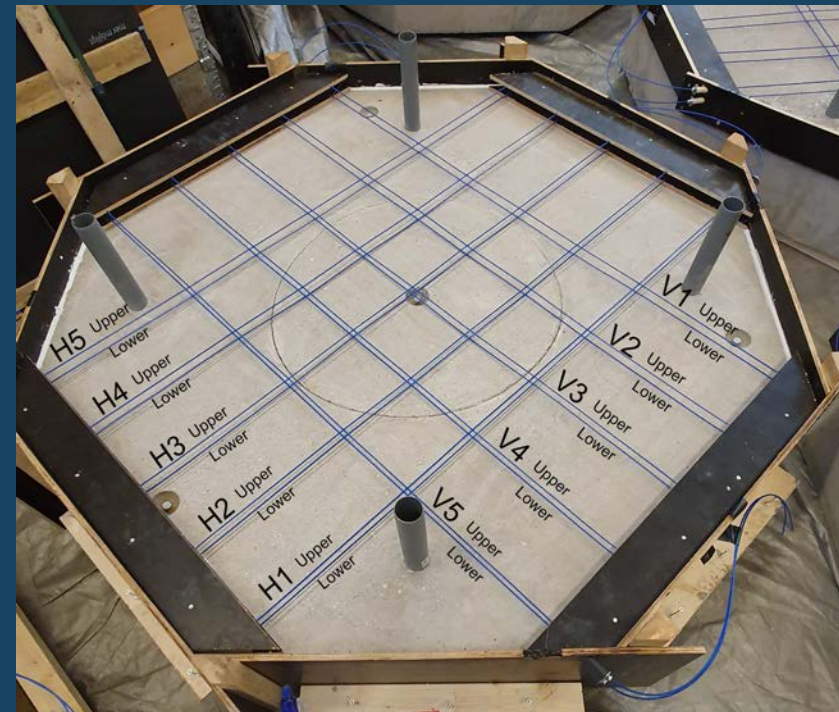
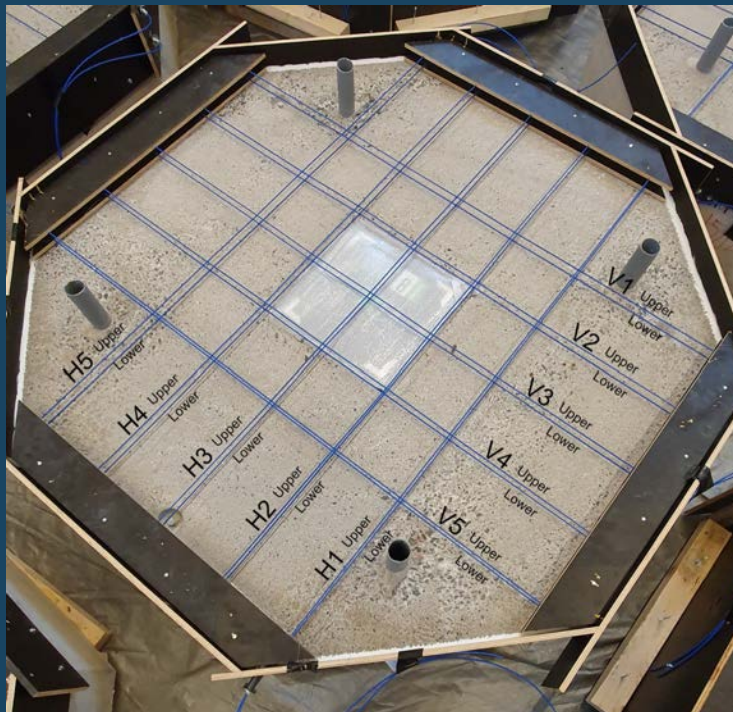


Experimental approach

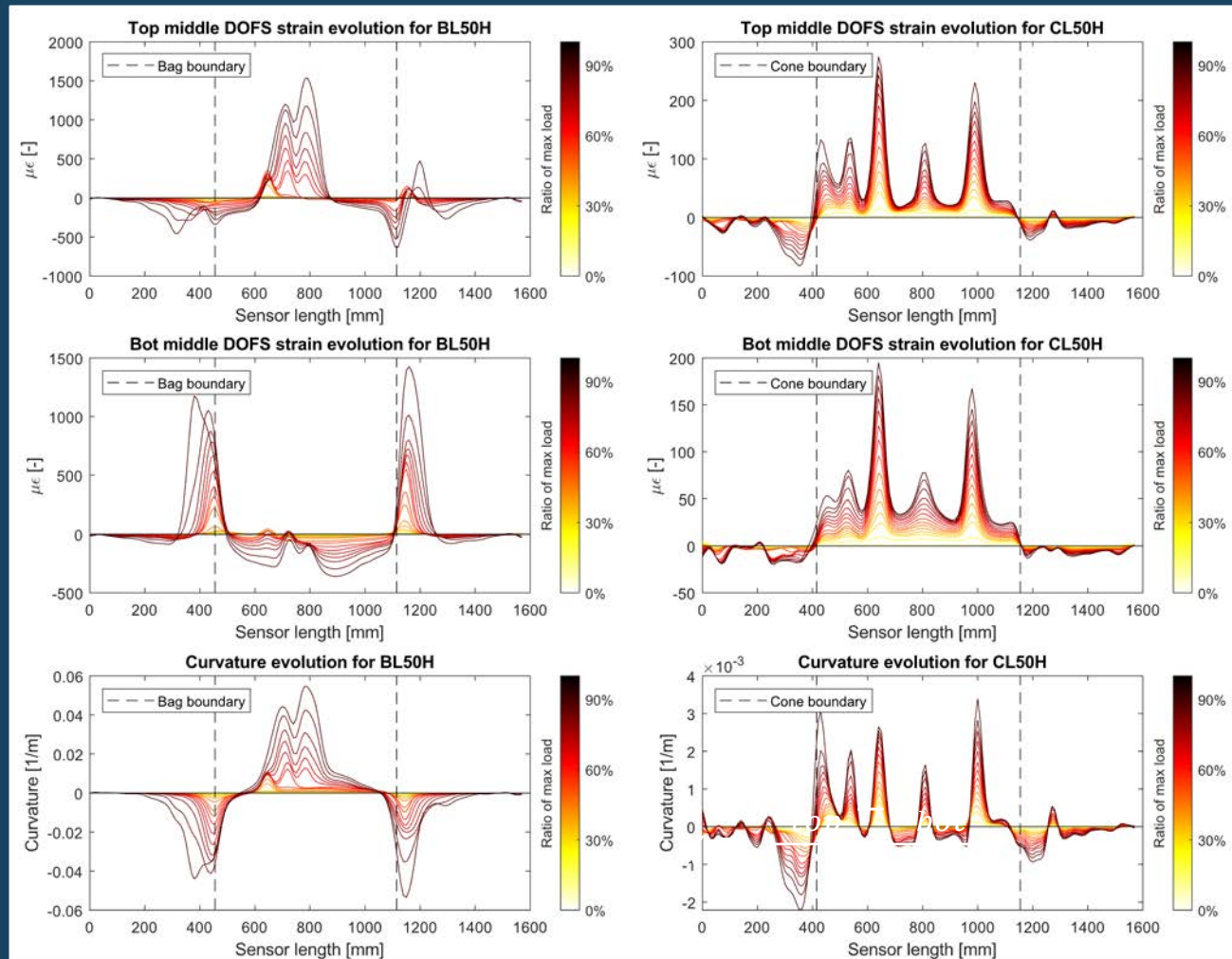


Load condition factor

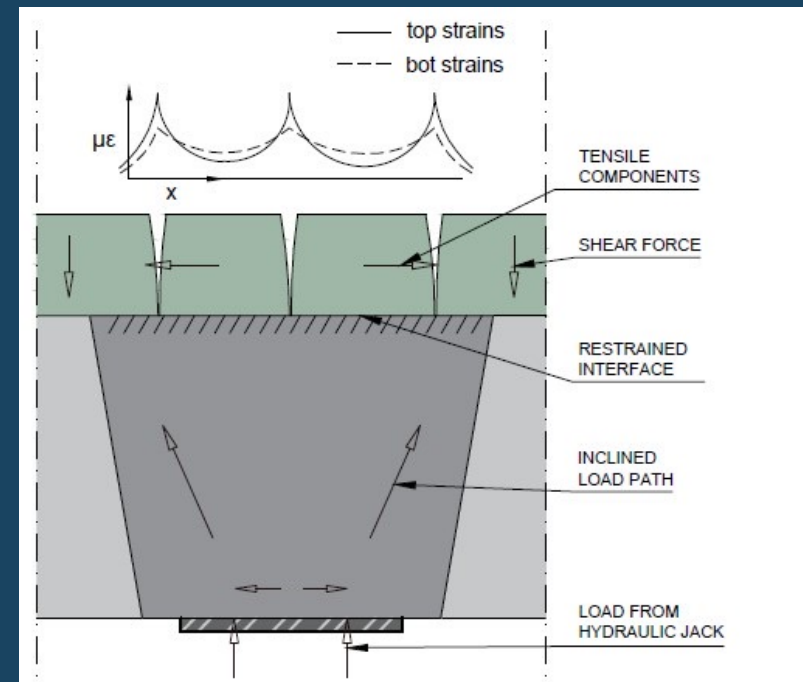
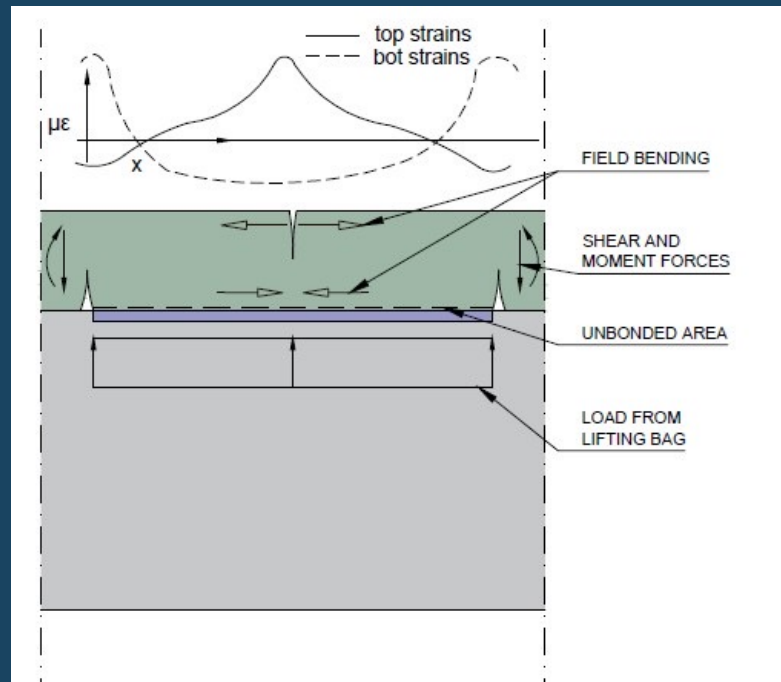
Placement of DOFs



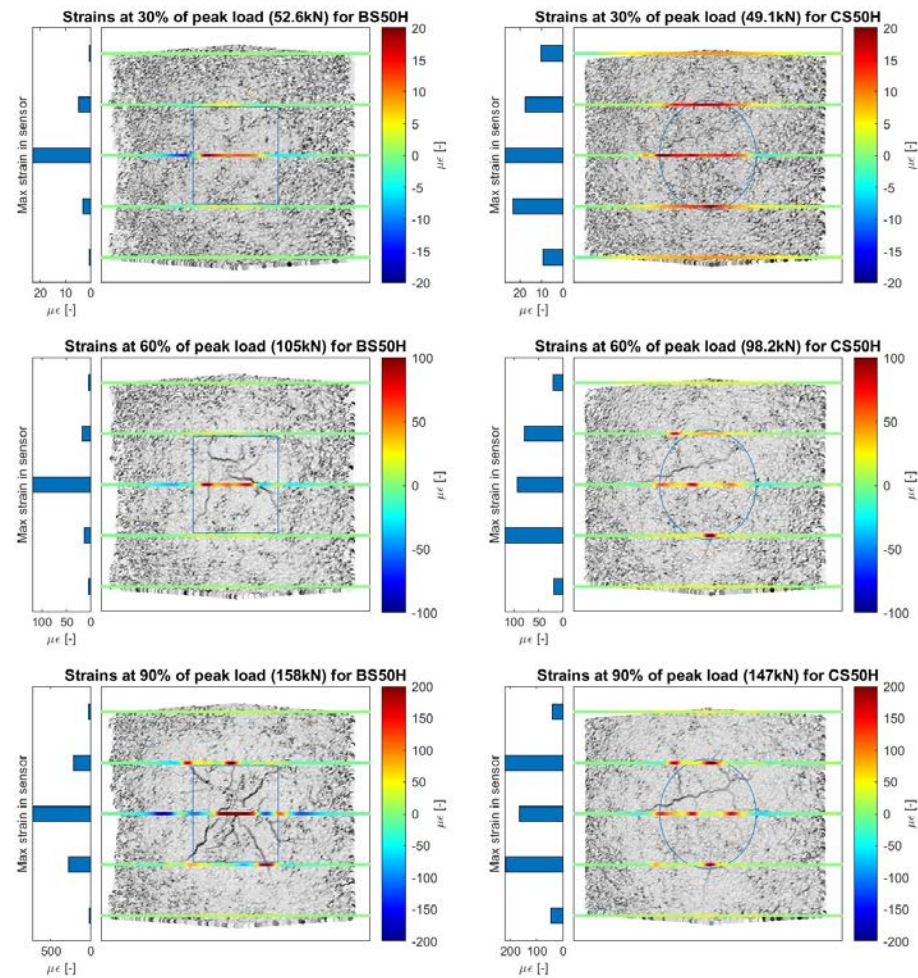
Pre-peak strains



Mechanical interpretation

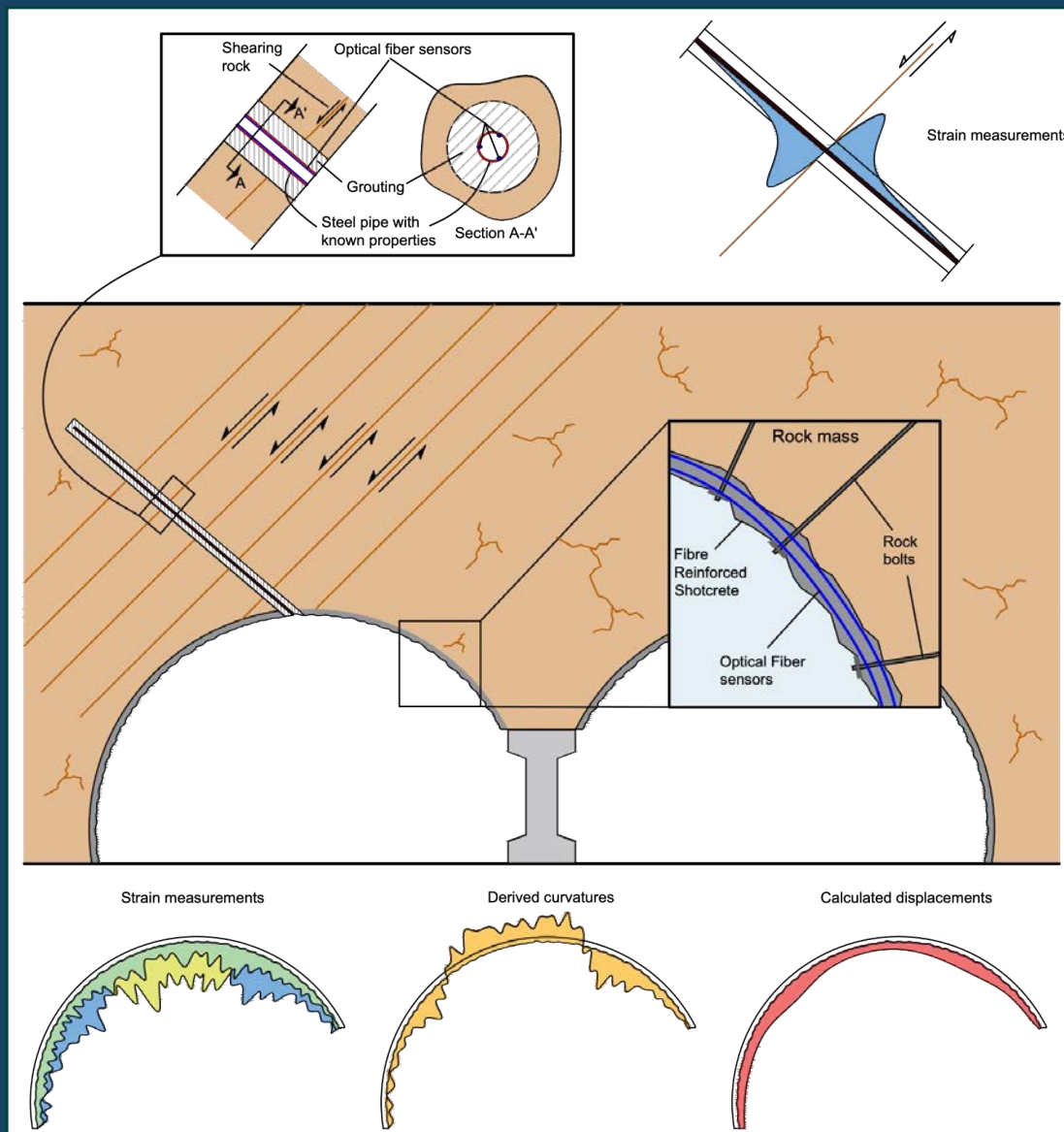


DOFS sensing range

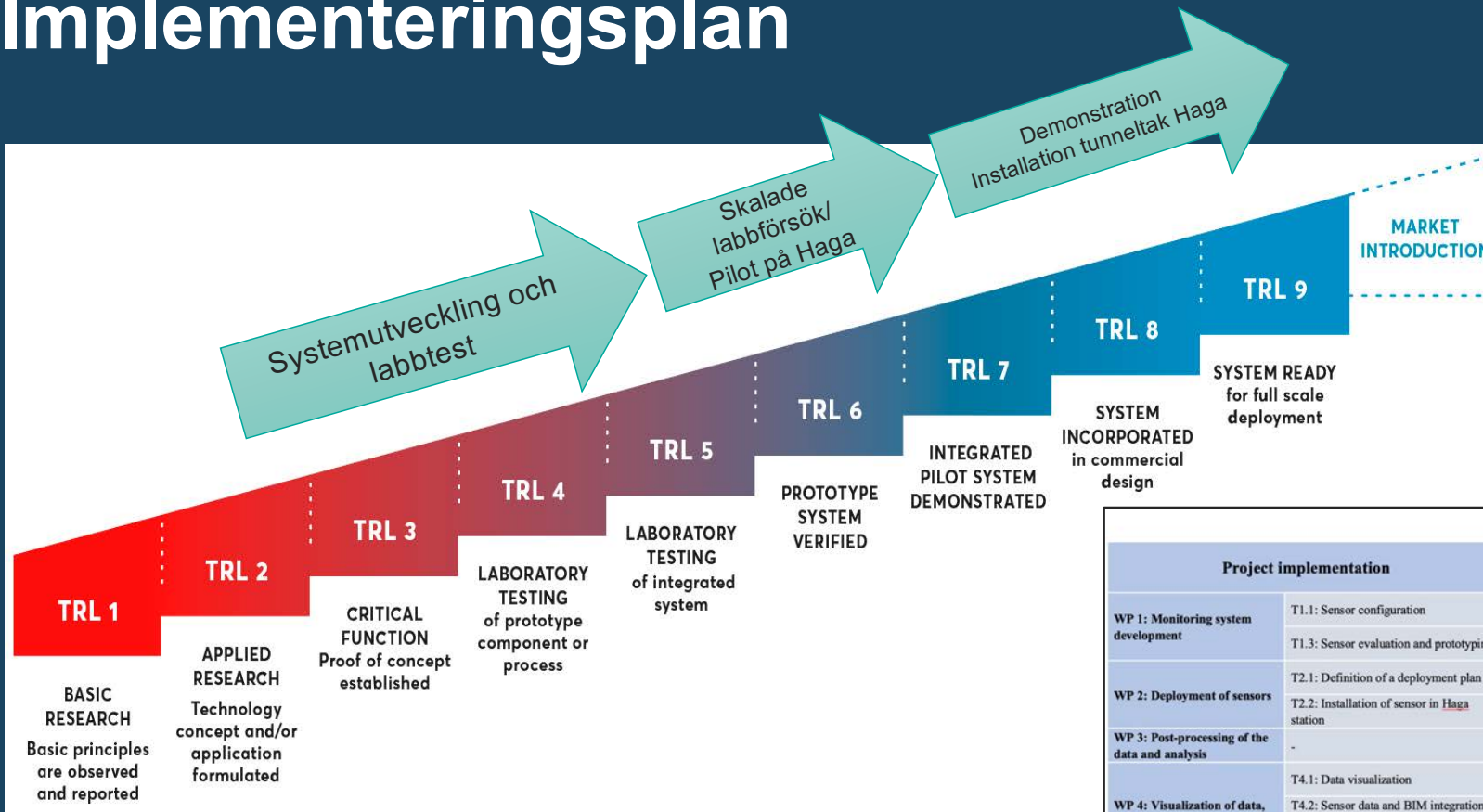


Conclusions

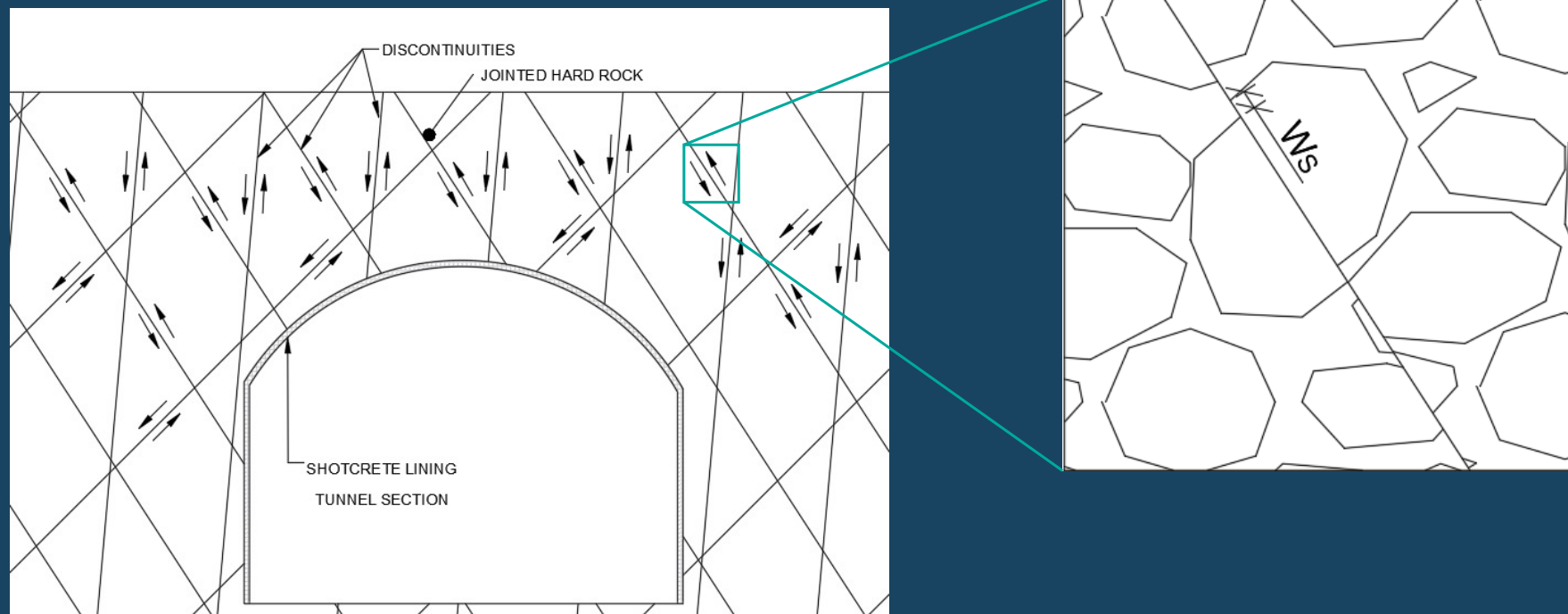
- *To identify and define performance indicators in shotcrete tunnel linings.*
 - Crack patterns and curvature distributions are identified as appropriate performance indicators associated to load type and bond performance
 - Models for mechanical interpretations were applied to validate the performance indicators
- *To show that advanced sensor-based monitoring systems are adequate tools for obtaining unique and trustworthy data in shotcrete tunnel linings.*
 - Distributed optical fibre sensing is appropriate to detect the performance indicators for local loads in tunnel linings



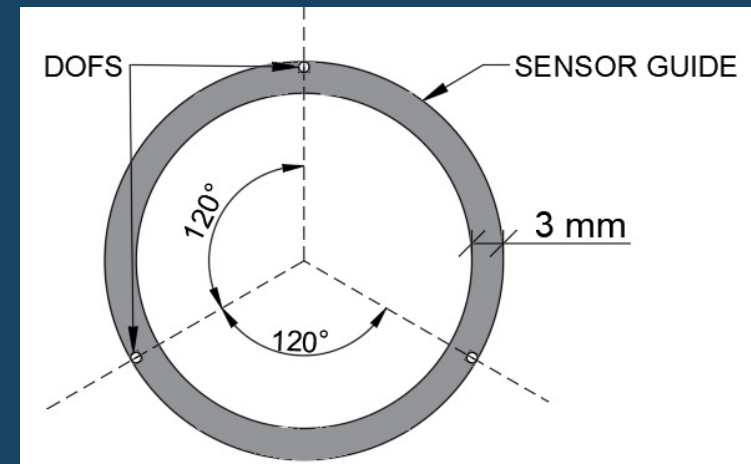
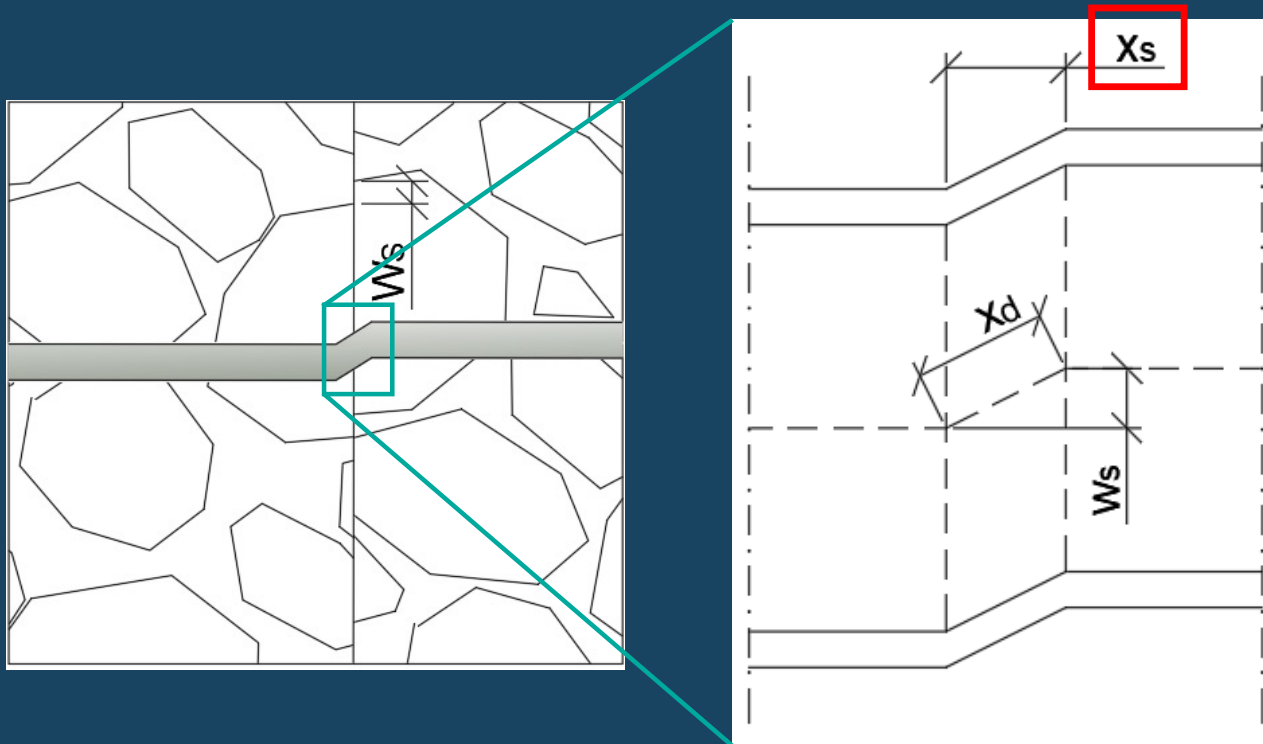
Implementeringsplan

[illegible]

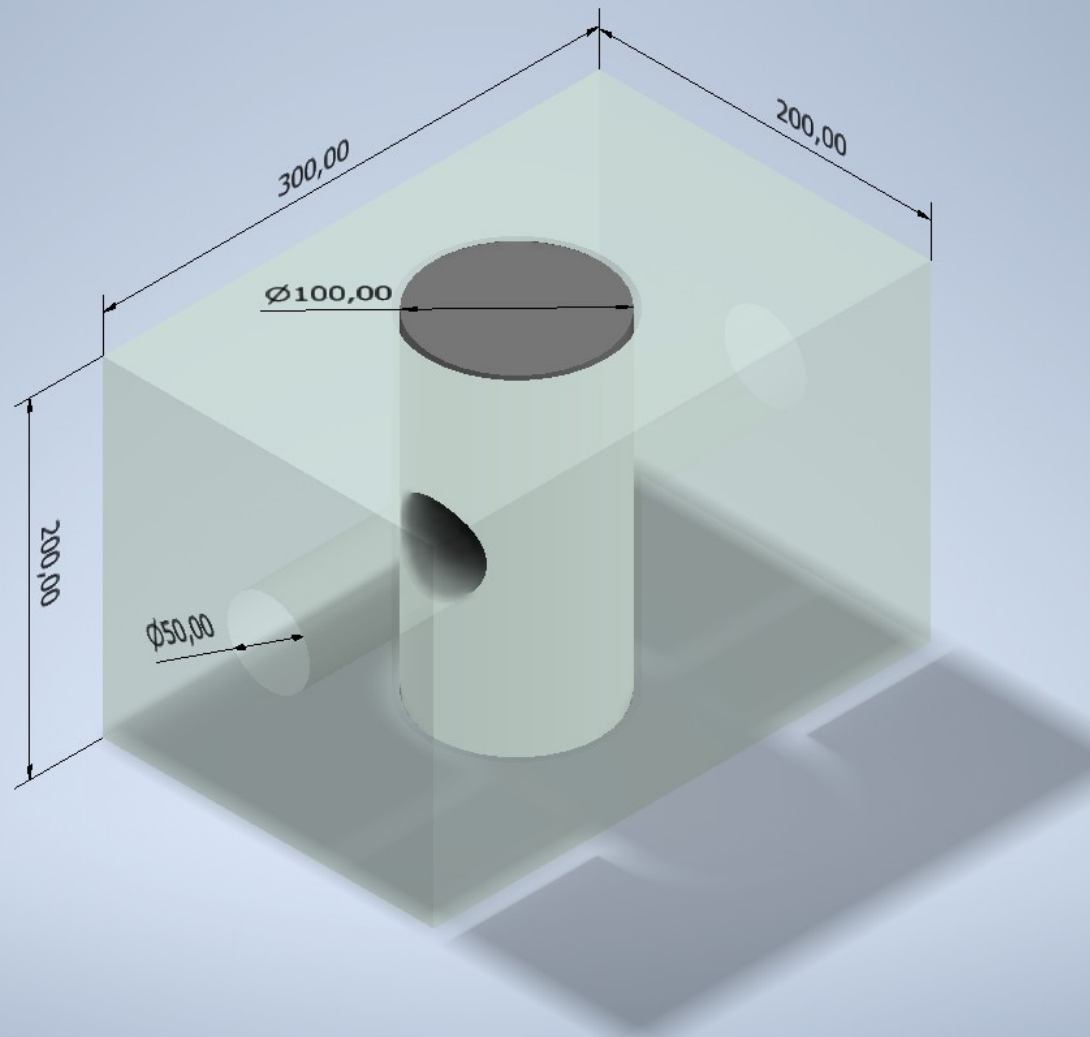
Shear deformation in discontinuities



Shear deformation in the sensor

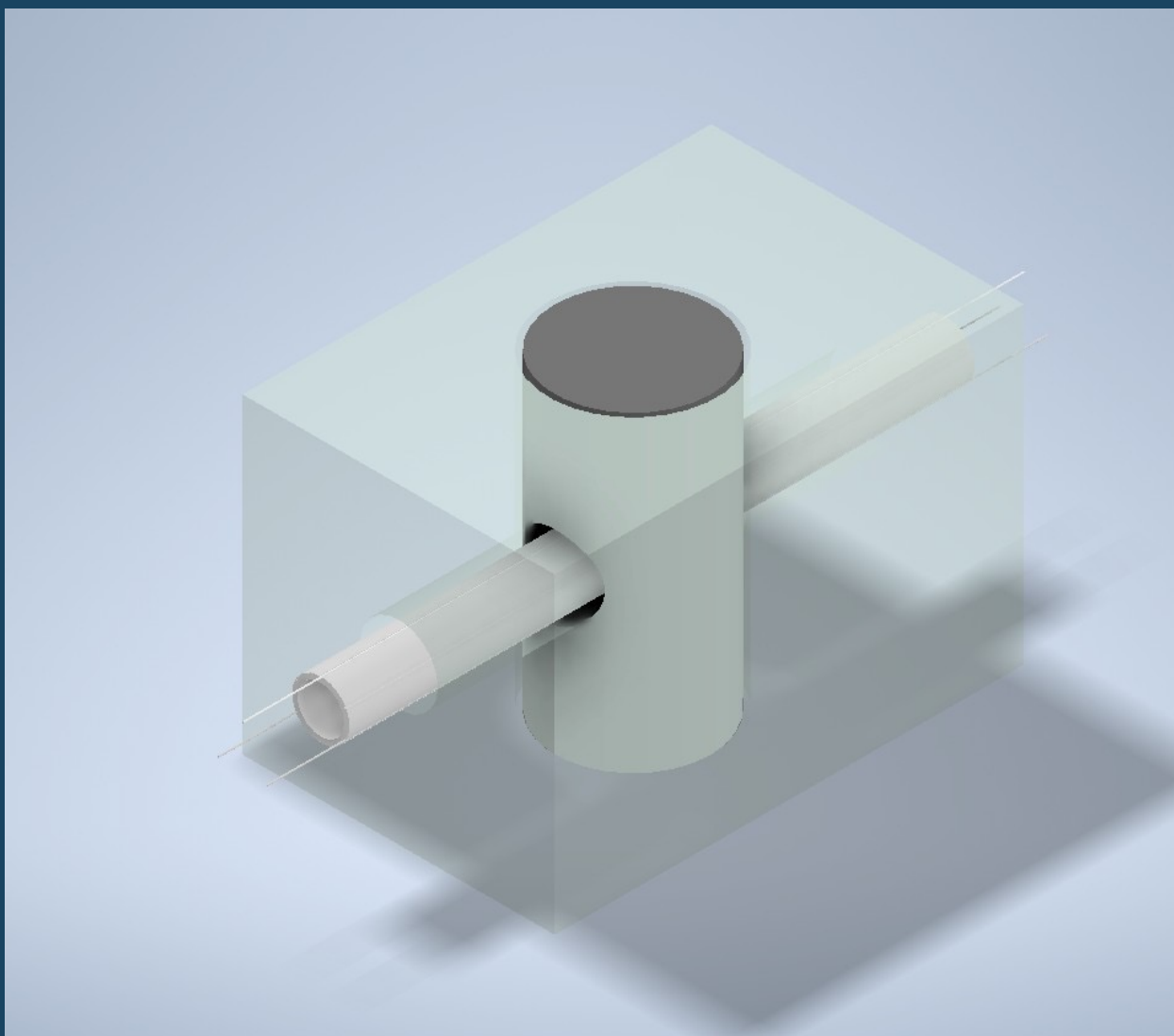


Prelim



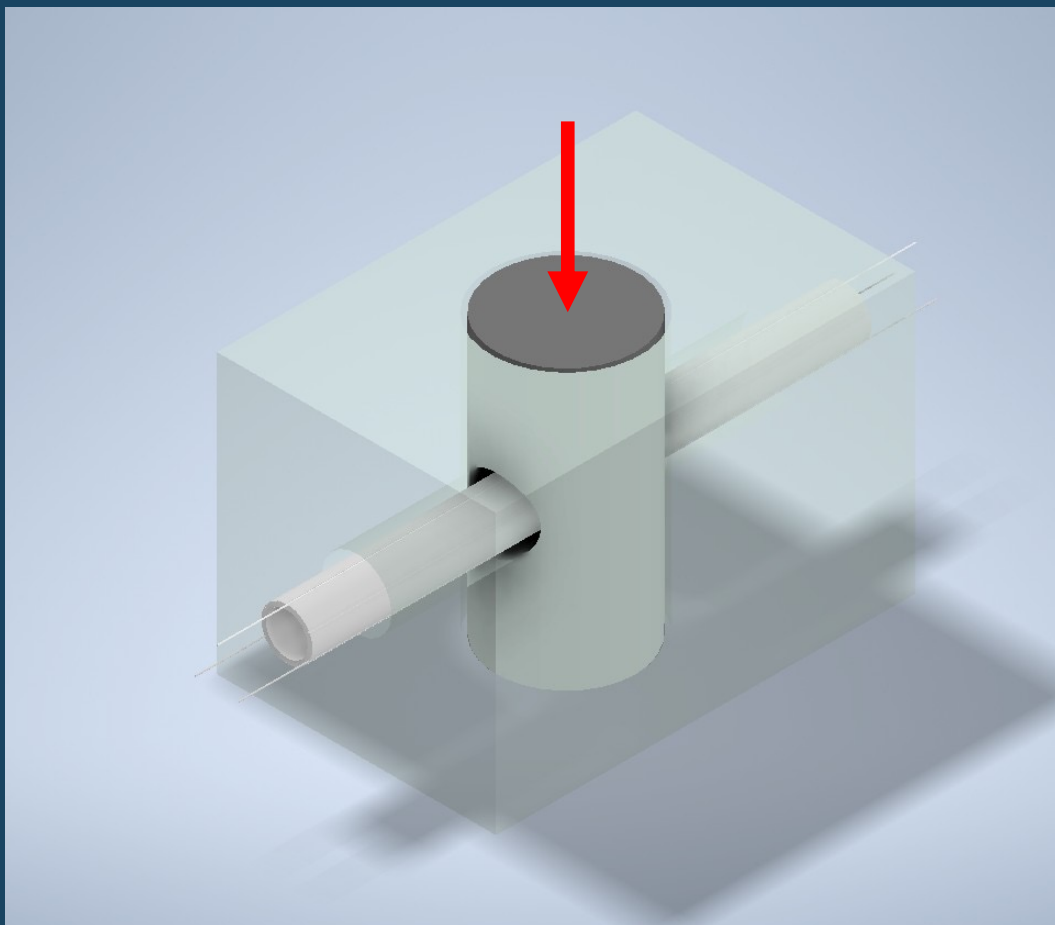


CHALMERS



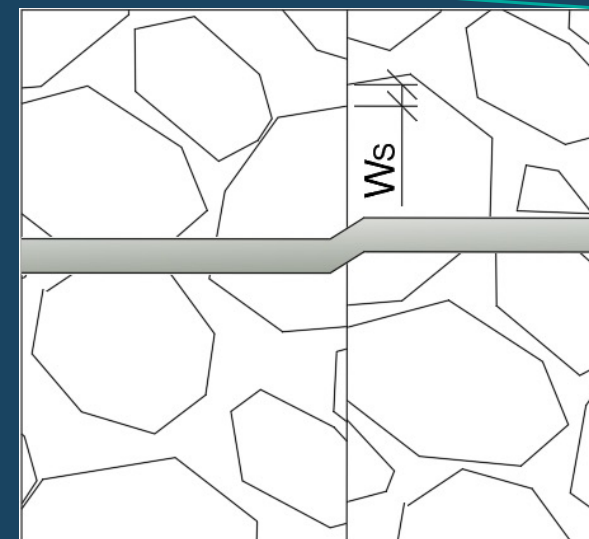
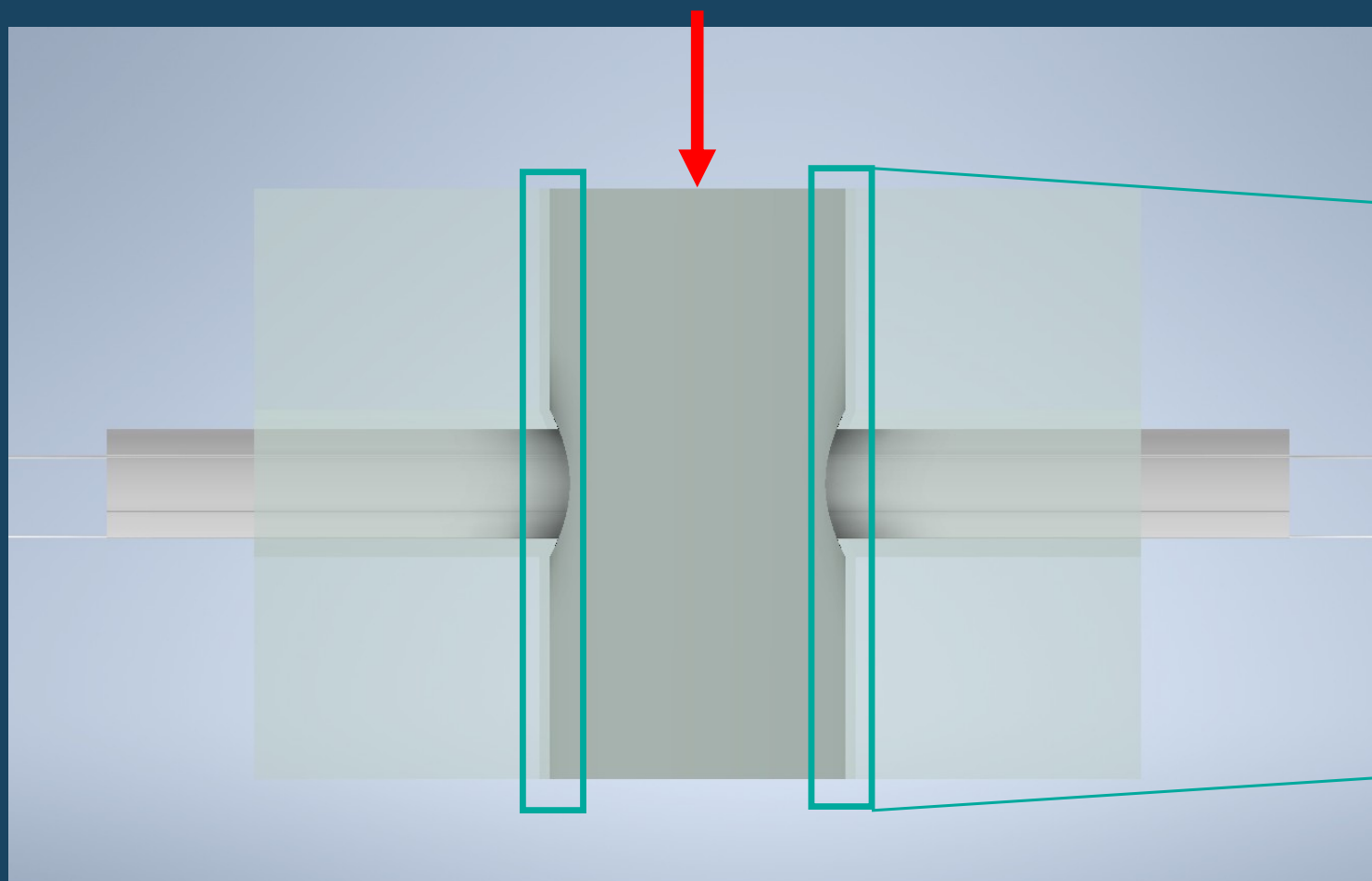


CHALMERS





CHALMERS



Nya experiment

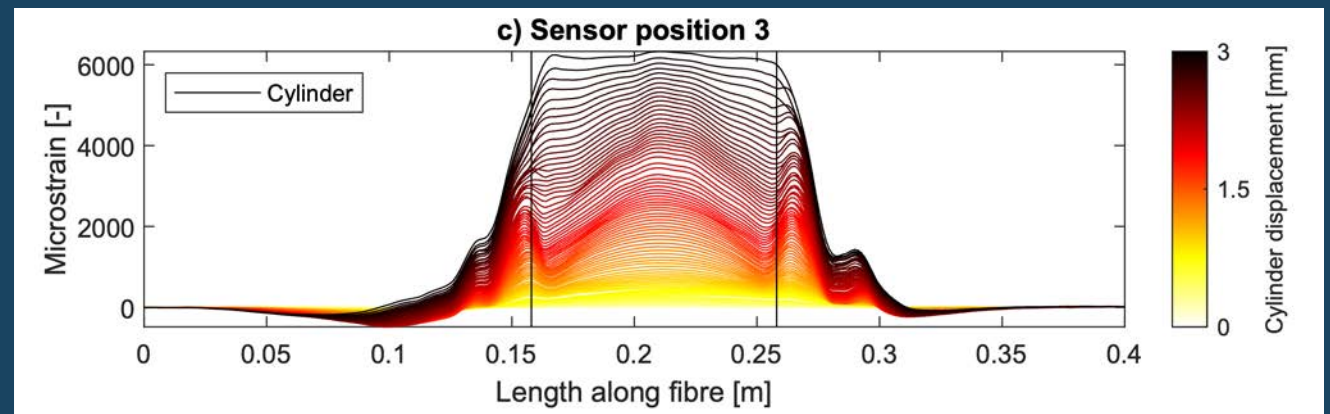
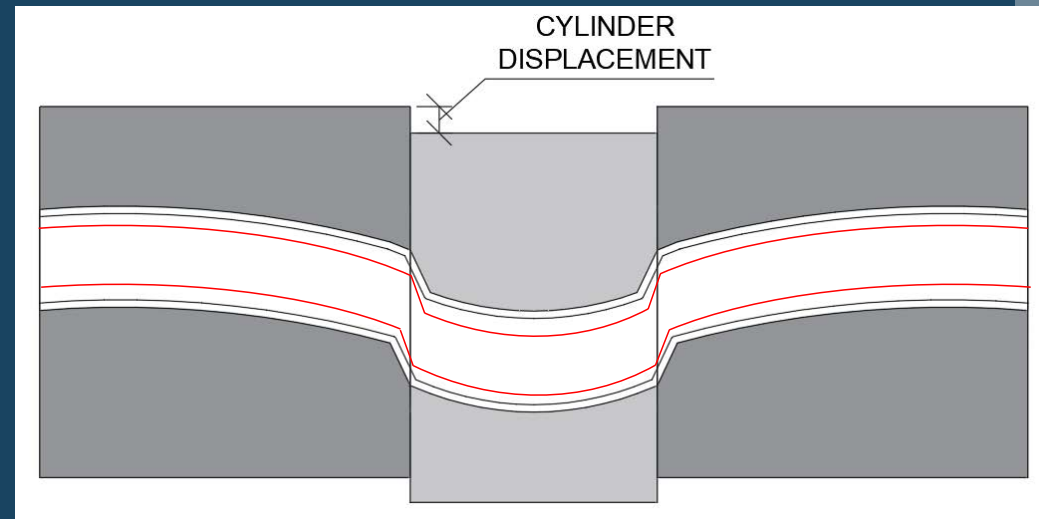
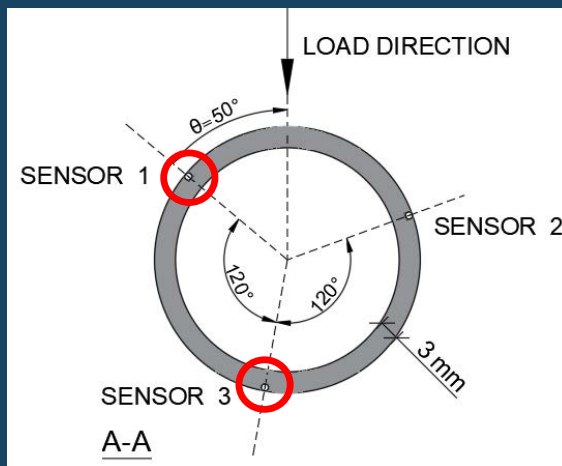


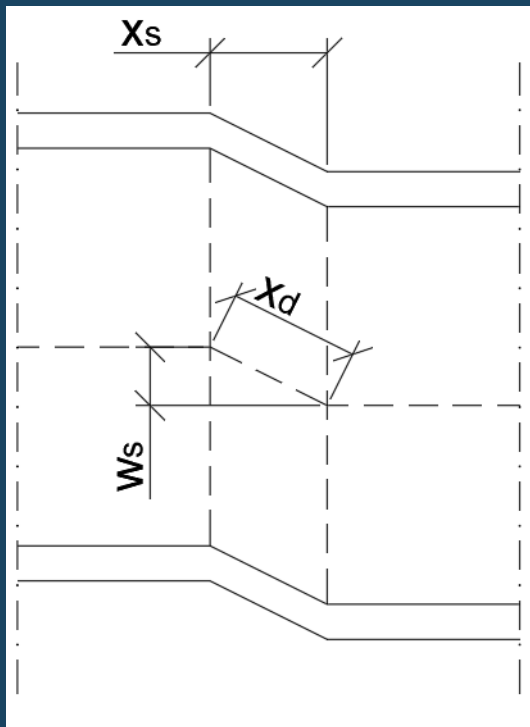
77



-17

Results

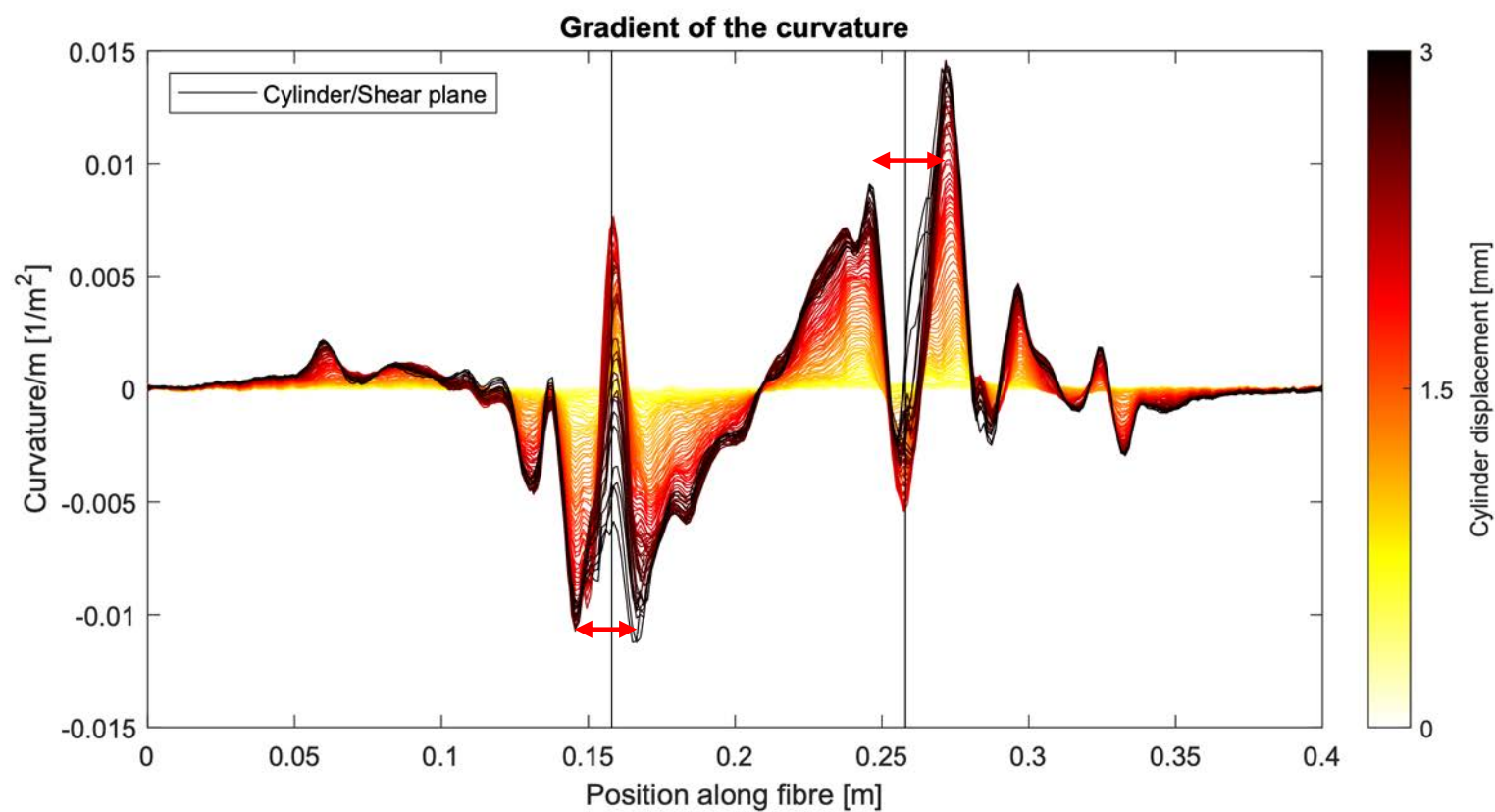
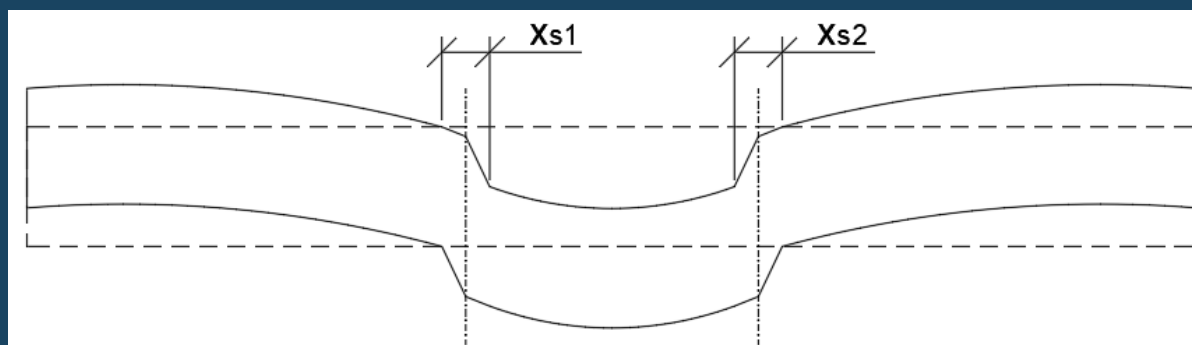




$$x_d = (\varepsilon_{mean} + 1)x_s$$

$$\varepsilon_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_s} \int_0^{x_s} \varepsilon_i(x) dx$$

$$w_{shear} = \sqrt{x_d^2 - x_s^2}$$



Questions?

För diskussion



Välkommen till chalmers

Kontakt

Rasmus Rempling

Docent

Studierektor Forskarskolan

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

+46 31 772 20 12 / +46 731 53 51 01

rasmus.rempling@chalmers.se

www.chalmers.se





CHALMERS