

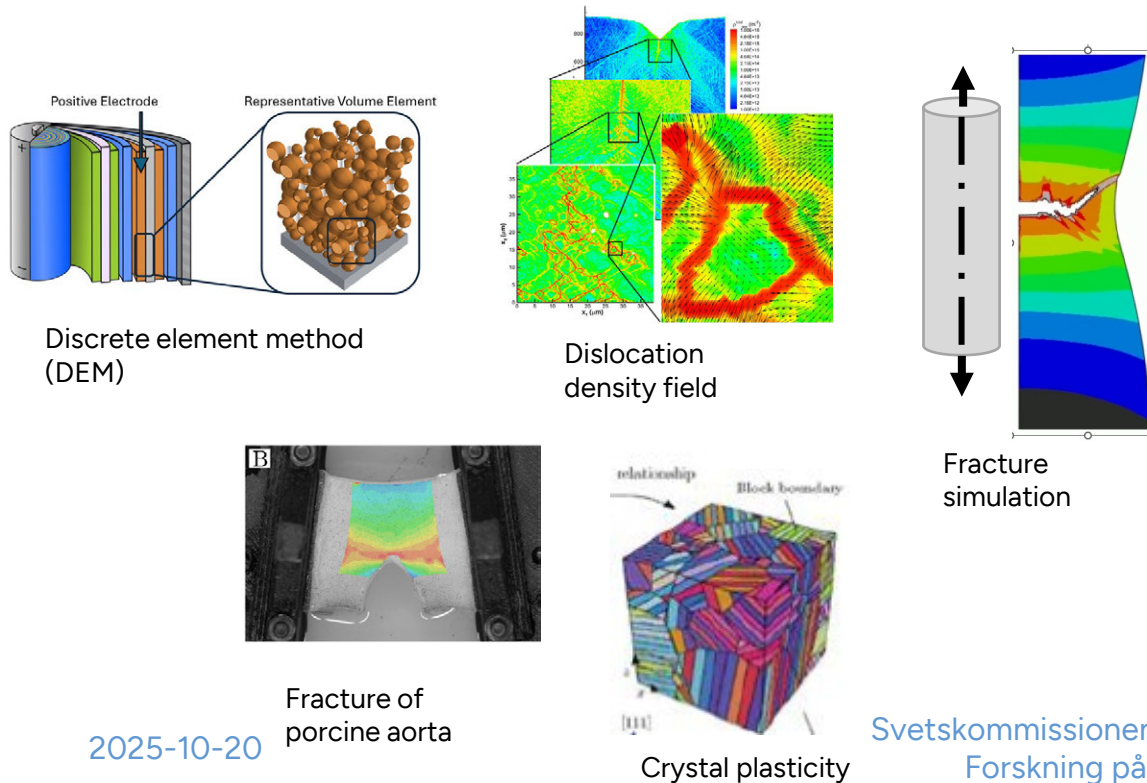


Utmattningsforskning, livslängdsförlängning och digital visuell kontroll

Gustav Hultgren
gustavhu@kth.se

Avdelningen för Material- och Strukturmekanik

- Sammanslagning av Lättviktskonstruktioner och Hållfasthetslära (2024).



2025-10-20

Weld & Composite Mechanics Group



Zuheir Barsoum
(Professor)



Gustav Hultgren
(Post-doc)



Torbjörn Narström
(Affiliated Faculty)



Mehdi Gahnadi
(PhD. Student)



Martin Edgren
(PhD. Student)



Erik Ferdeen
(PhD. Student)



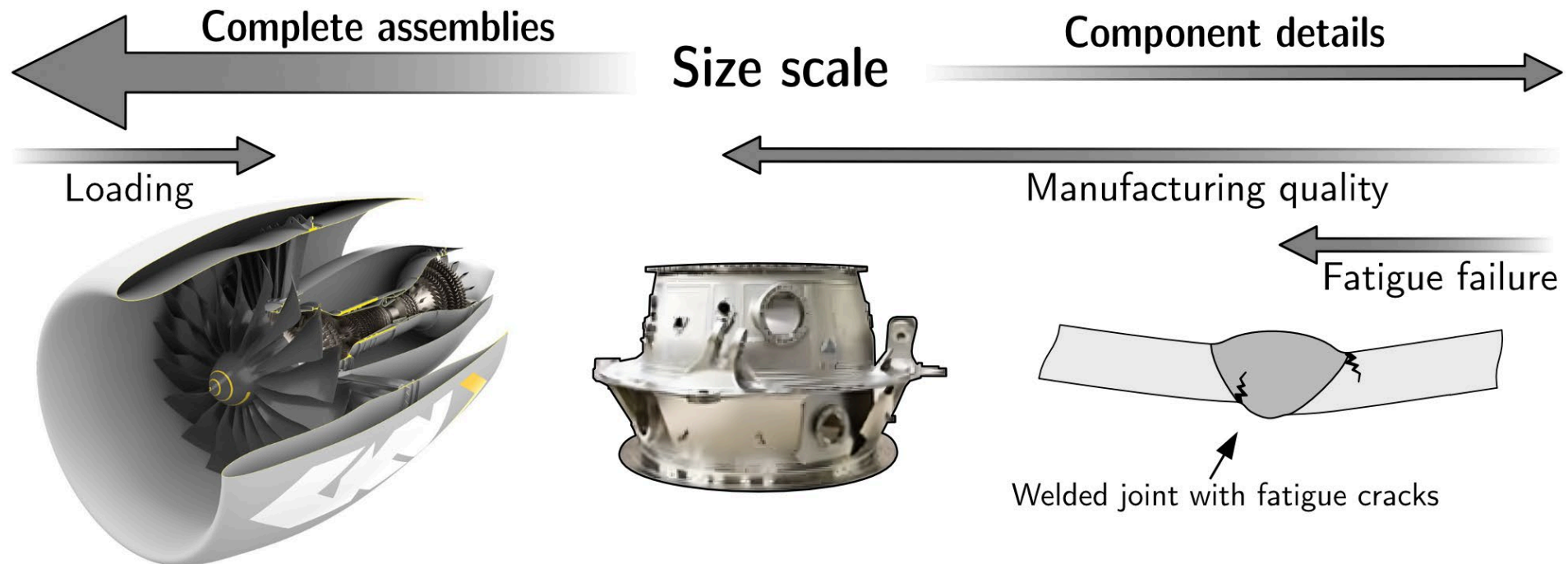
Jonas Carlsson
(PhD. Student)



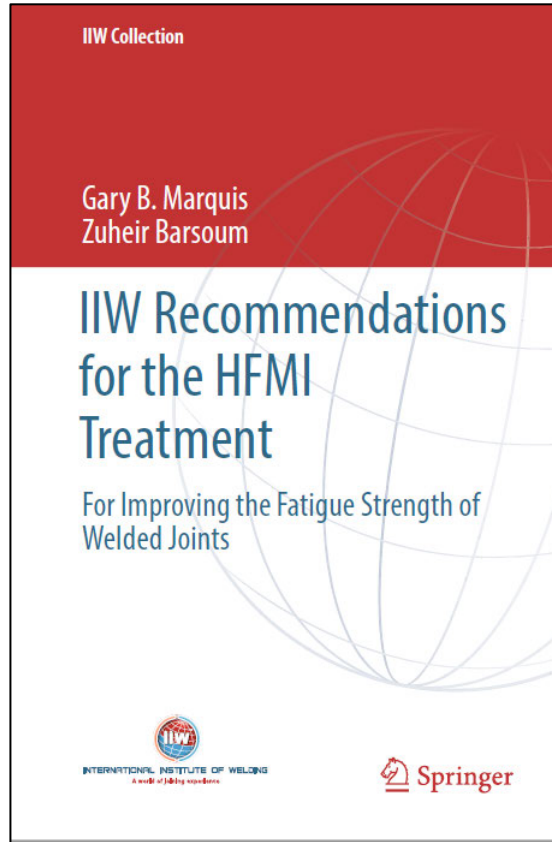
Anni Li
(Research engineer)

Utmattning, ett lokalt problem

- **Utmattning** är den gradvisa försvagningen av material vid cyklisk belastning, ofta initierad vid spänningskoncentrationer och resulterande i brott under sträckgränsen.
- **Tillförlitlighet** avser sannolikheten att en komponent fungerar utan fel över tid, med hänsyn till osäkerheter i material, belastning och miljö.



Uppdateringar av rekommendationer och standarder



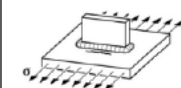
prEN 1993-1-12:202x (E)

5.9 Additional rules to EN 1993-1-9

[1] EN 1993-1-9 may be applied to steel structures in steel grades stronger than S700 up to and including S960 if the following additional rule is applied to the following clause in EN 1993-1-9.

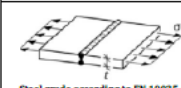
Additional rule to F.4.2.1(1) in EN 1993-1-9:
The detail category of HFMI treated details Δ_{HFMI} in Tables 5.6, 5.7 and 5.9 that are dependent on steel grade f_y and stress ratio R may be used.

Table 5.6: Reference value of detail category of HFMI treated details Δ_{HFMI} of transverse stiffeners due to qualified HFMI treatments for the nominal stress method

 Steel grade according to EN 10025-6 and/or EN 10149-2 As welded detail category $\Delta_{\text{ref}} = 80$ [N/mm ²] S700 < f_y ≤ S960	Detail category ^{a) 0}		
	Stress ratio R [%] ^{b)}		
	-1,0	0,1	0,5
	180	180	125

^{a)} Table applies for $t \leq 50$ mm; if $50 < t \leq 80$ mm, Δ_{HFMI} should be reduced by one fatigue detail category.
^{b)} For other stress ratios R , linear interpolation is allowed.
^{c)} Limitations of applied stresses calculated according to EN 1993-1-9, F.3.1: $-0,7 f_y < \sigma \leq f_y$.

Table 5.7: Reference value of detail category of HFMI treated details Δ_{HFMI} of transverse butt welds due to qualified HFMI treatments for the nominal stress method

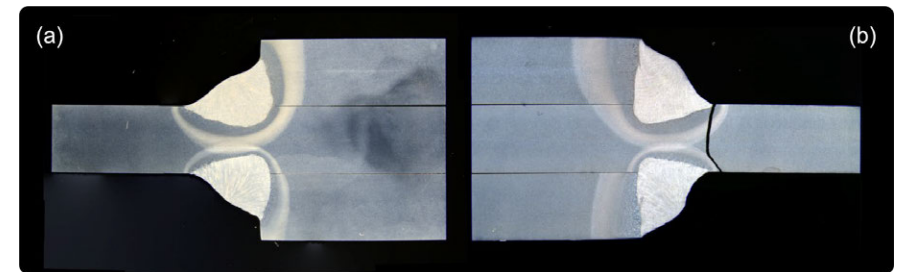
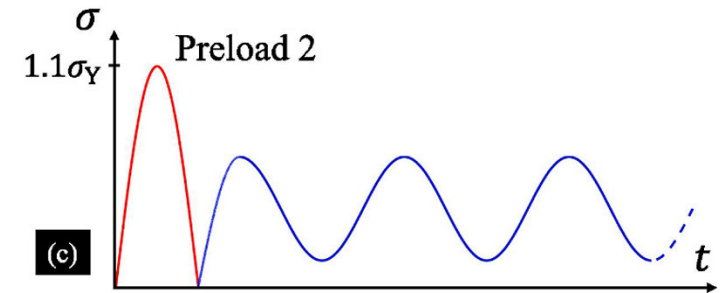
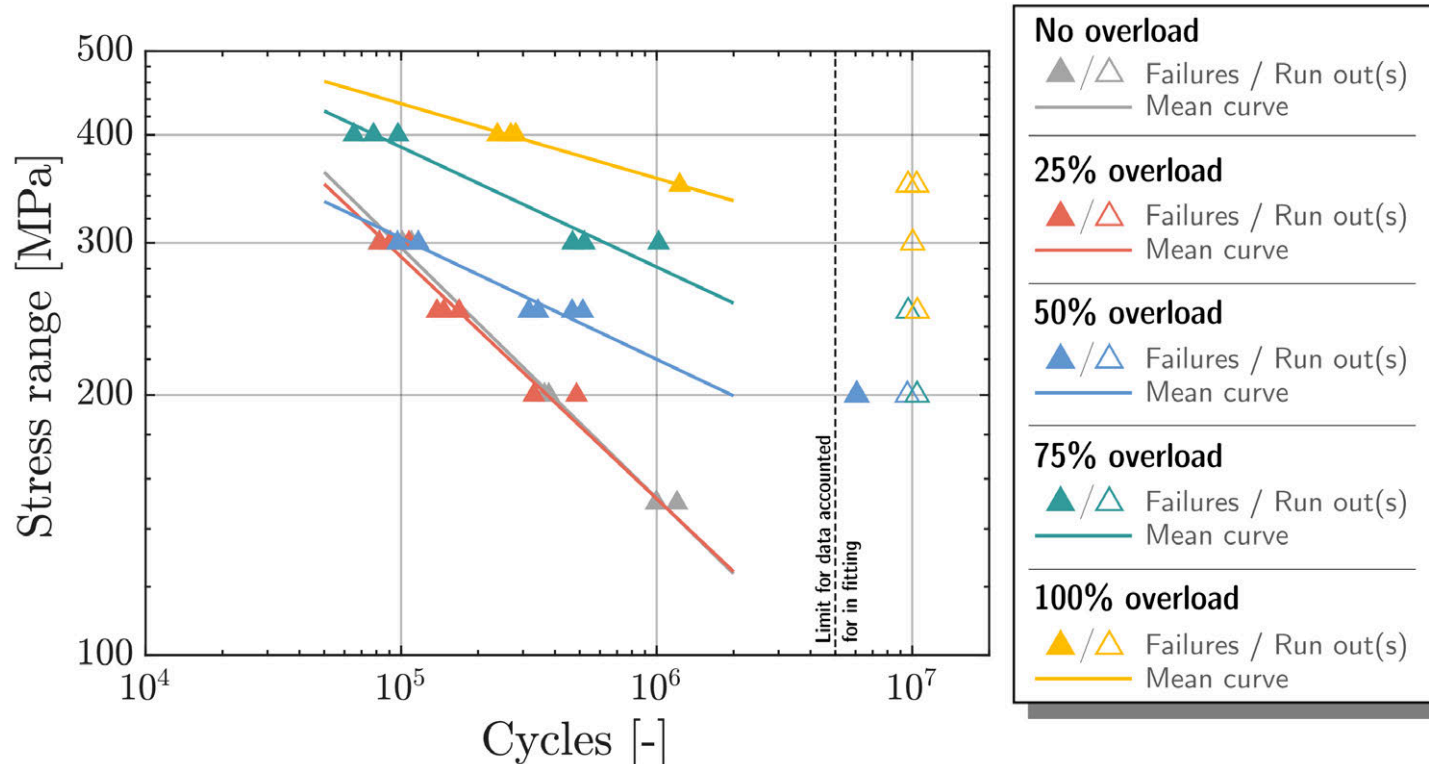
 Steel grade according to EN 10025-6 and/or EN 10149-2 As welded detail category $\Delta_{\text{ref}} = 90$ [N/mm ²] S700 < f_y ≤ S960	Detail category ^{a) 0}		
	Stress ratio R [%] ^{b)}		
	-1,0	0,1	0,5
	180	180	140

^{a)} For other stress ratios R , linear interpolation is allowed.
^{b)} For $t_{\text{min}} > 25$ mm, Δ_{HFMI} should be reduced by $k_t = (25/t_{\text{min}})^{0,25}$.
^{c)} Limitations of applied stresses calculated according to EN 1993-1-9, F.3.1: $-0,7 f_y < \sigma \leq f_y$.

17

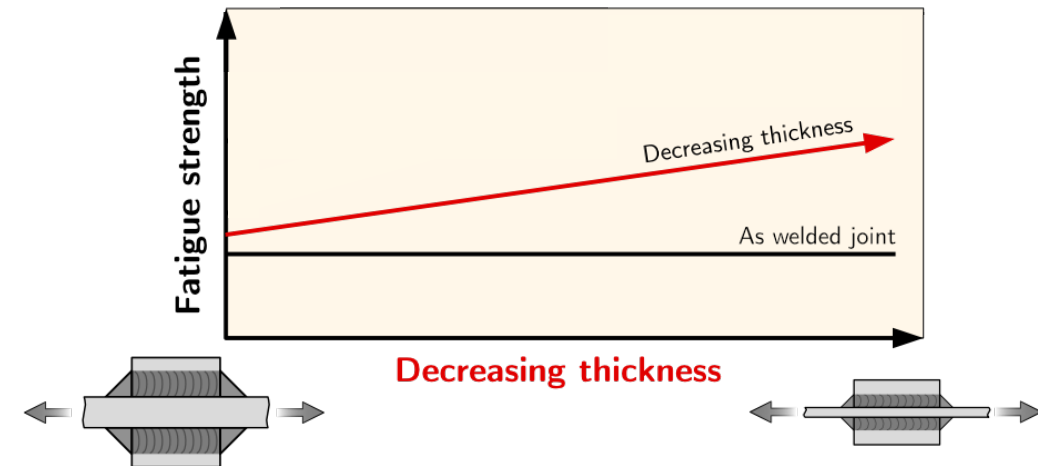
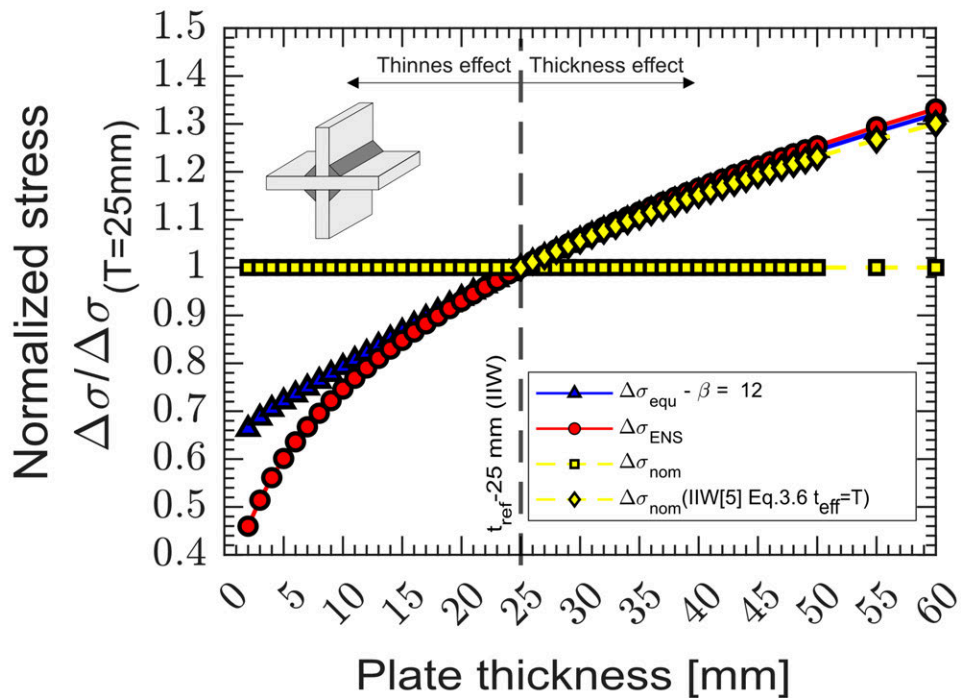
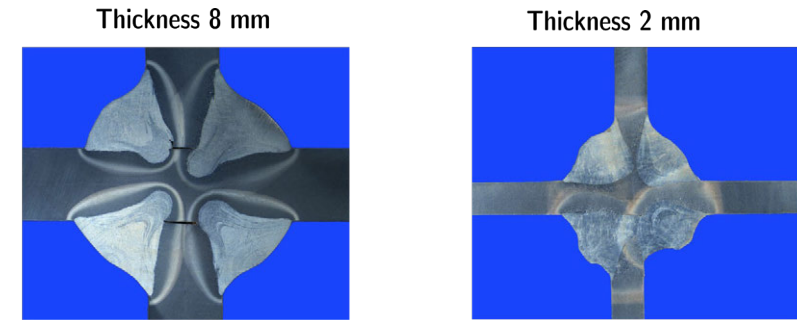
Förbättring genom hög förlast

- Förlast som enkel metod för att öka utmattningslivslängden.
- Omfördelar restspänningar vid spänningskoncentrationer.
- Signifikant livslängdsförbättring.



“Tunnhetseffekten” vid svetsutmattning

- Tunnare svetsfogar kan ge högre utmattningshållfasthet.
- Beror på brantare spänningsgradienter och mindre belastad volym.
- Traditionella standarder bortser ofta från denna fördel.



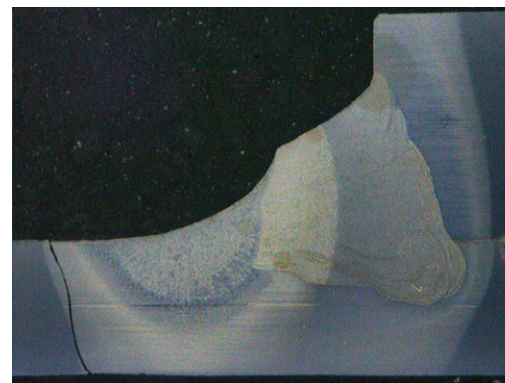
Pågående arbete inom livslängdsförlängning

Efterbehandlingsmetoder

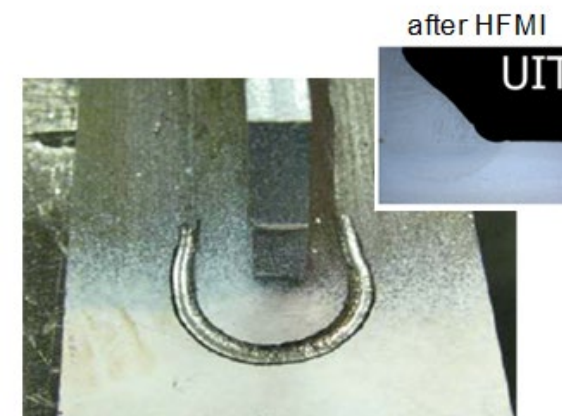
- Vi arbetar med att förstå:
 - Hur stor livslängdsförbättring vi kan nå.
 - Hur vi kan kvalitetssäkra behandlingen.
 - När efterbehandlingsmetoder är applicerbara.
 - De olika metodernas begränsningar.



TIG dressing

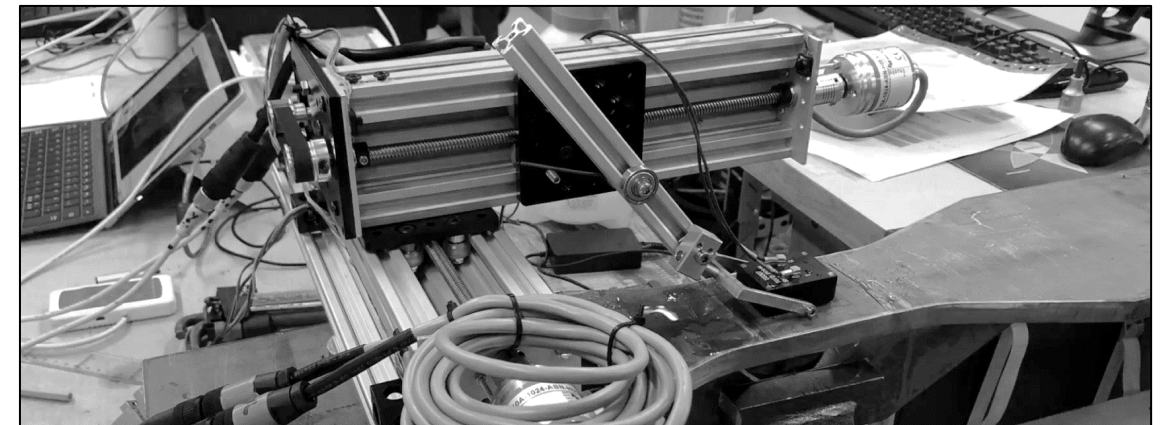
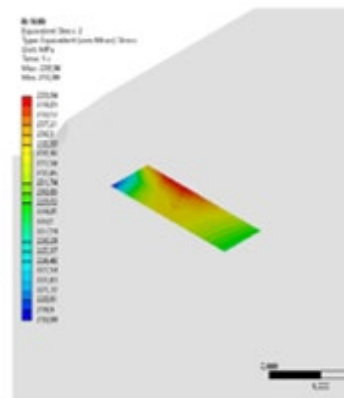
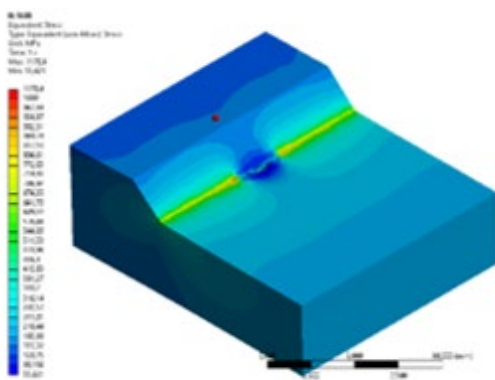
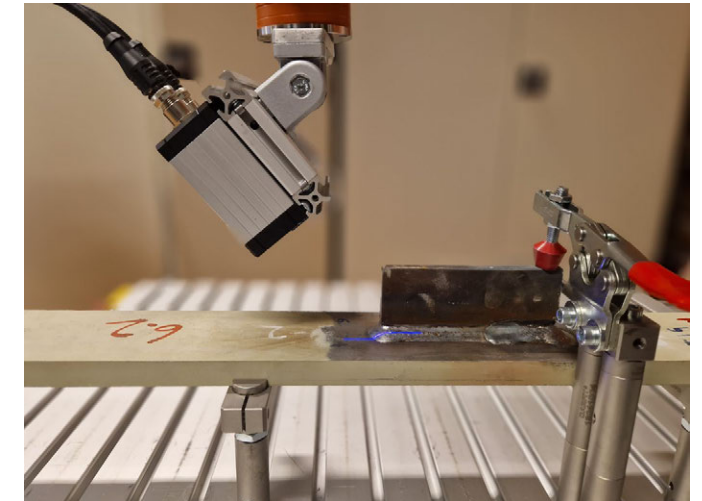
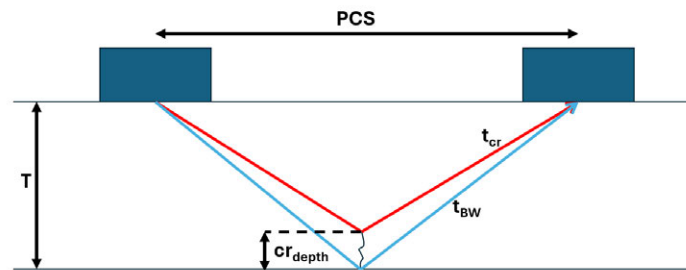
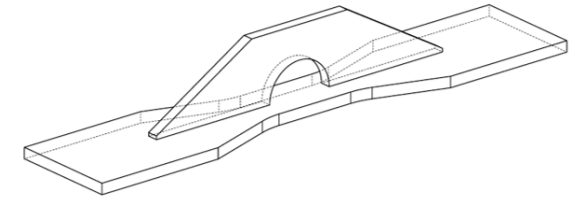


HFMI treatment



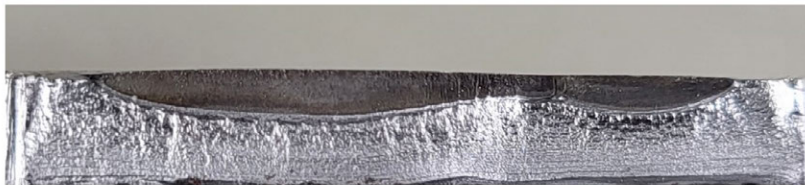
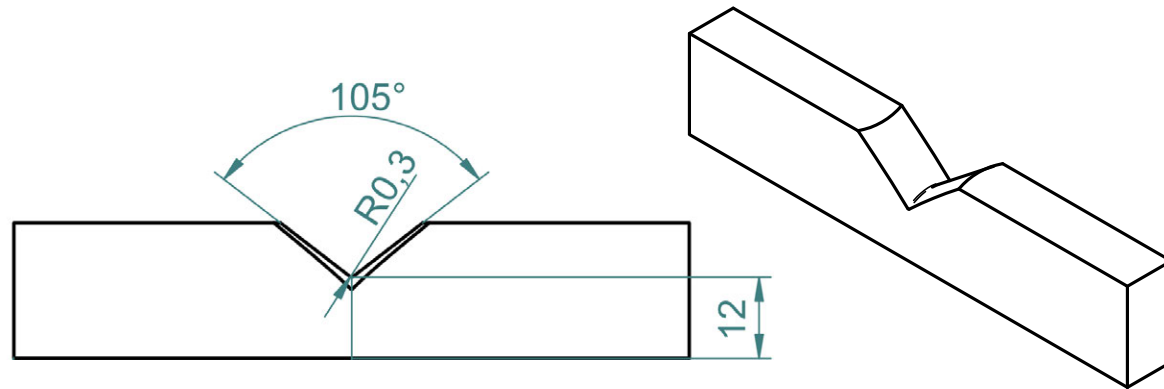
Provning på förutmattade svetsar

- Förutmattade svetsar → Utmattningssprickor.
- Förstå när efterbehandlingsmetoder är applicerbara.
- Hur stora defekter vi kan missa.
- Hur stora defekter vi kan mäta.

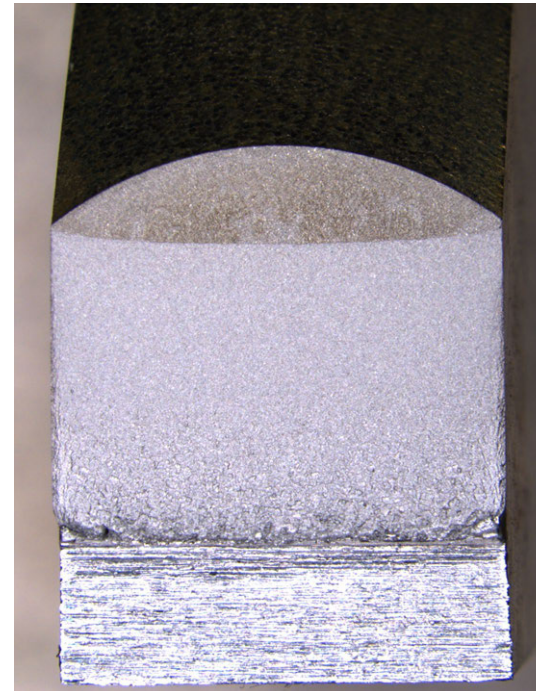


Hur stora defekter (sprickor) kan vi tillåta?

- För att svara på detta måste vi kunna skapa sprickor med väldigt kontrollerad geometri.
- Ny provstavstyp och provningsförfarande.
- Efterliknar fattningskanten geometriskt utan att vara svetsad.



Utan HFMI



Med HFMI



Pågående arbete inom Digital Visuel Kontroll

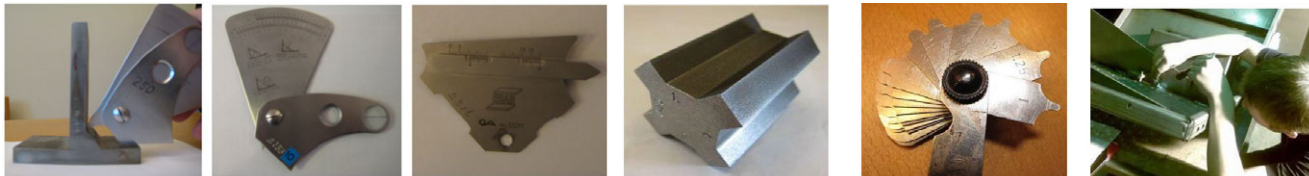
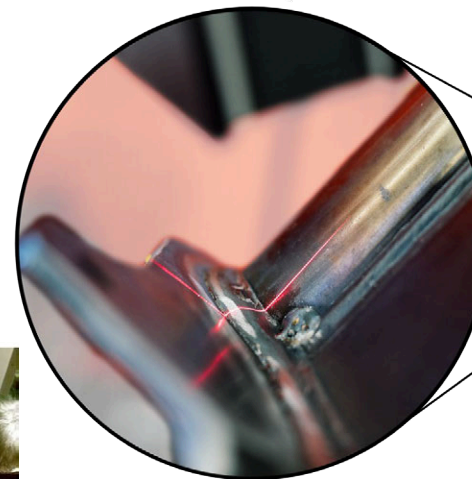
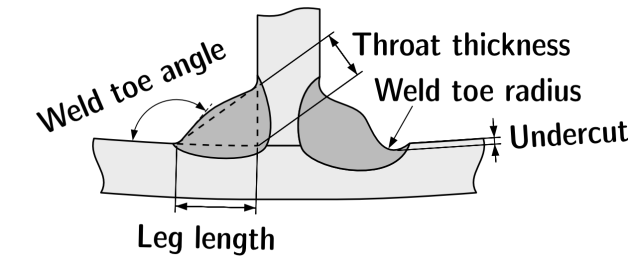
Digital Visuell Kontroll (D-VT)

- **Analoga mätverktyg**

- Fångar inte upp variationer.
- Arbetsintensivt.
- Låg precision.

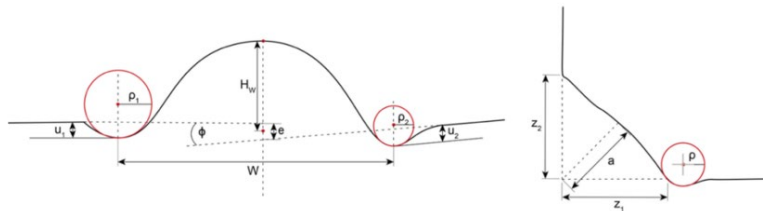
- **Laserbaserat kvalitetssäkringssystem**

- Skannar hela svetsar → fångar variation.
- Kan användas både automatiskt och manuellt.
- Noggranna och precisa mätningar.
- Högupplösta data.

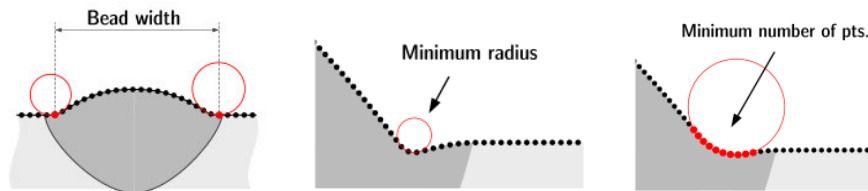


Standardisering av D-VT

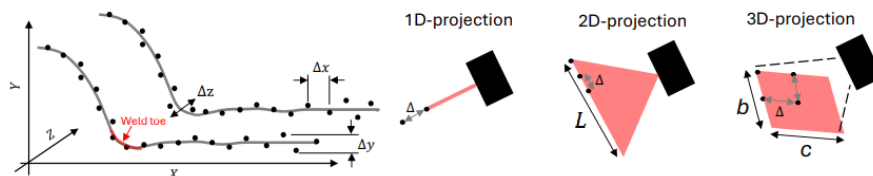
- Arbete med att standardisera D-VT.
- Pågående arbete både nationellt och internationellt.
- Parametrar för att definiera geometrin.



- Krav på geometriska mått.



- Krav på mätsystem.



XIII-3153-2025

Best Practice Guideline for Digital Visual Testing (D-VT) – Part 1: Identification of Local Geometrical Parameters of Welded Joints

Moritz Braun^{1,a}, Jan Schubnell^{2,b}, Gustav Hultgren^{3,c}

¹ German Aerospace Center DLR, Institute of Maritime Energy Systems, Geesthacht, Germany

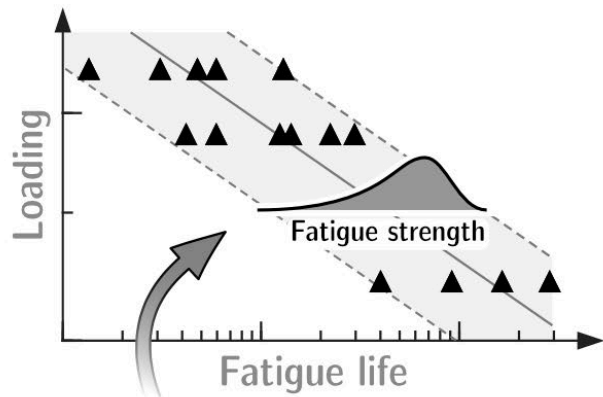
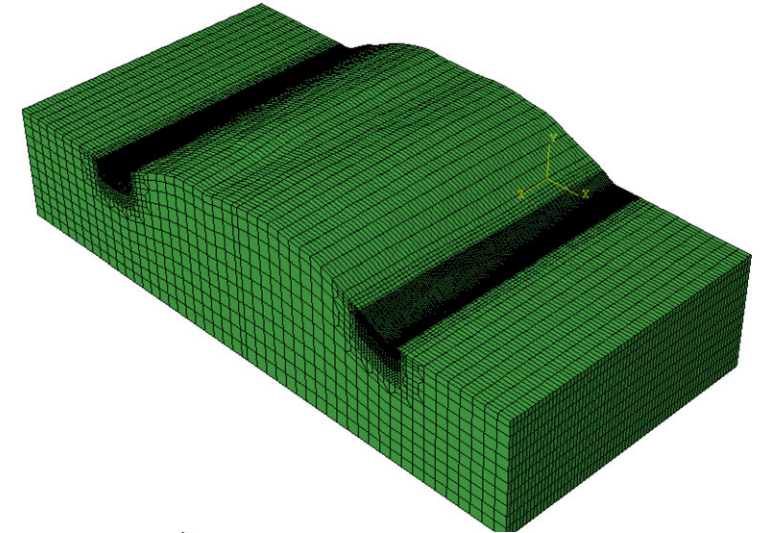
² Fraunhofer Institute of Mechanics of Materials IWM, Freiburg, Germany

³ KTH Royal Institute of Technology, Department of Engineering Mechanics, Material and Structural Mechanics, Stockholm, Sweden

I.	Definition of local geometrical parameters <ul style="list-style-type: none"> • Definition in current guidelines • Proposed definition of local parameters • Definition in terms of fatigue-relation
II.	Surface and measurement preparation <ul style="list-style-type: none"> • Surface preparation and workpiece cleaning • Surface reflectivity and external influences • Measurement alignment
III.	Measurement systems <ul style="list-style-type: none"> • Digitizer • Measurement parameter • In-plane weld slice resolution
IV.	Data preparation <ul style="list-style-type: none"> • Characteristics and calibration of optical sensors • Filtering techniques for data processing • Accuracy and tolerance ranges
V.	Evaluation algorithms <ul style="list-style-type: none"> • Different algorithm for weld toe radii, weld toe angle, and undercut depth determination
VI.	Statistical analysis <ul style="list-style-type: none"> • Frequency of evaluation and slicing distance • Statistical description of identified weld geometry parameters

Utveckla beräkningsmetodik

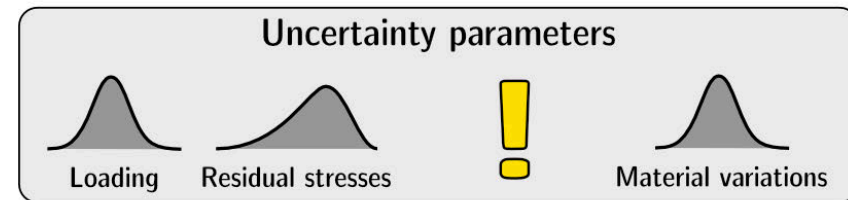
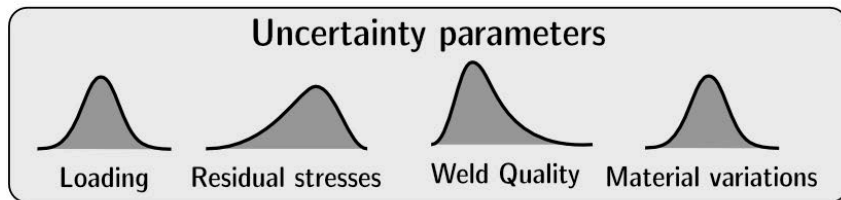
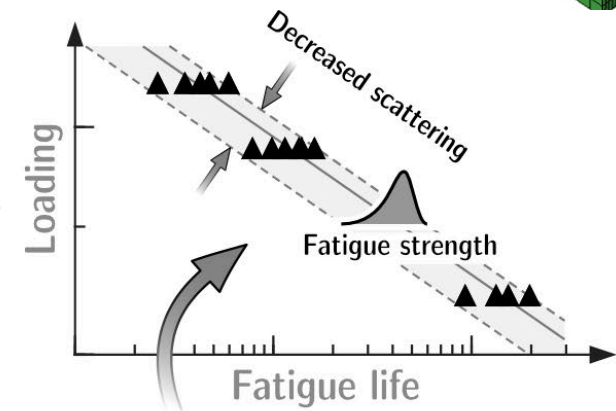
- Integrera D-VT med livslängdsberäkningar av flygmotorkomponenter.
- Linjärelastisk brottmekanik.



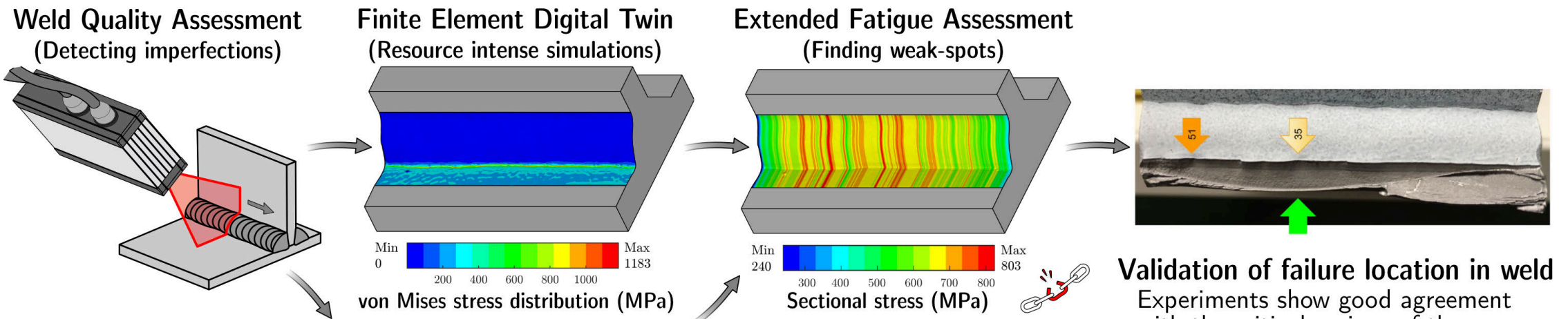
PREDWISE

Reducing fatigue life uncertainty by comprehending the impact of quality.

- Develop advanced fracture mechanical models of the real welds.
- Adoption and integration of digitalised quality assurance with lifing methods



Assisterad svetsutvärdering med AI

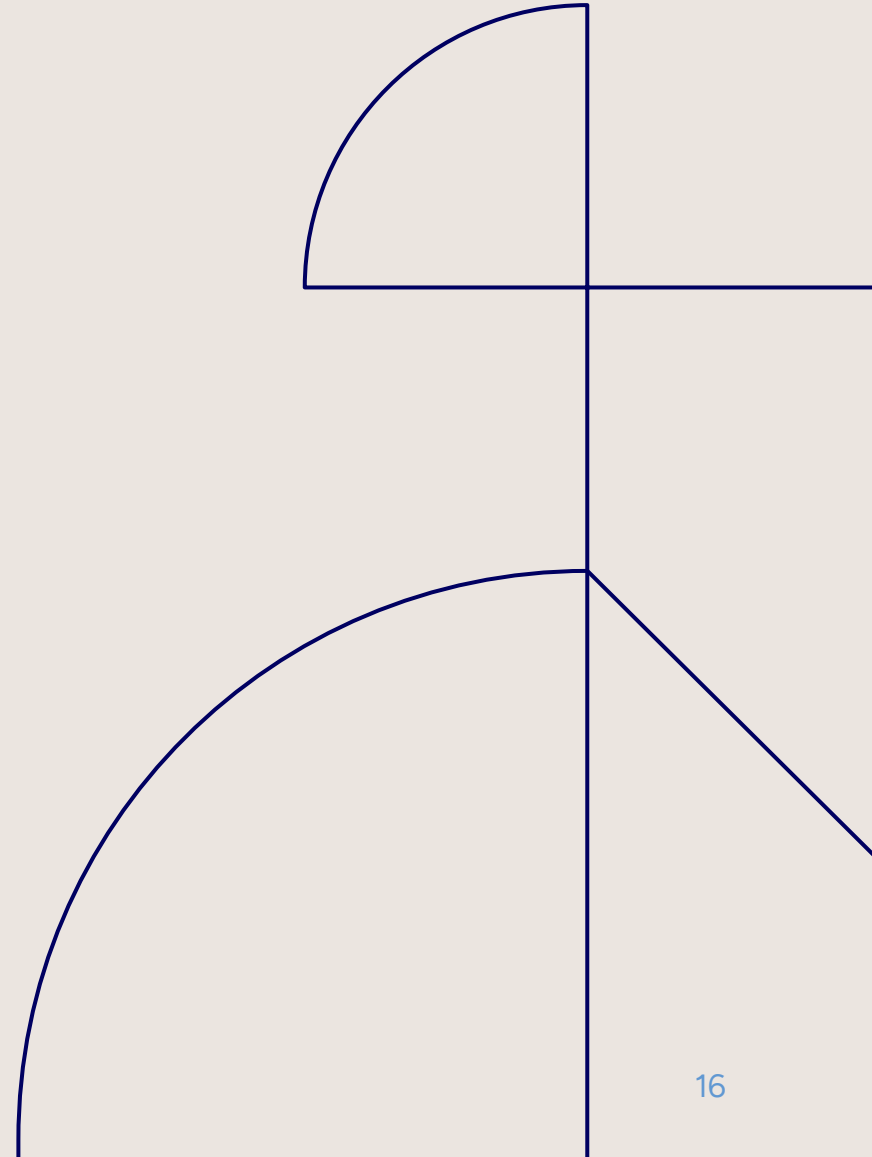


Physics-informed neural networks (PINNs)
 Objective of WP2: Bypass the (existing) Finite Element Digital Twin simulations since they are not computationally feasible for the industry to perform.

Validation of failure location in weld
 Experiments show good agreement with the critical regions of the Extended Fatigue Assessment.

Extramaterial:

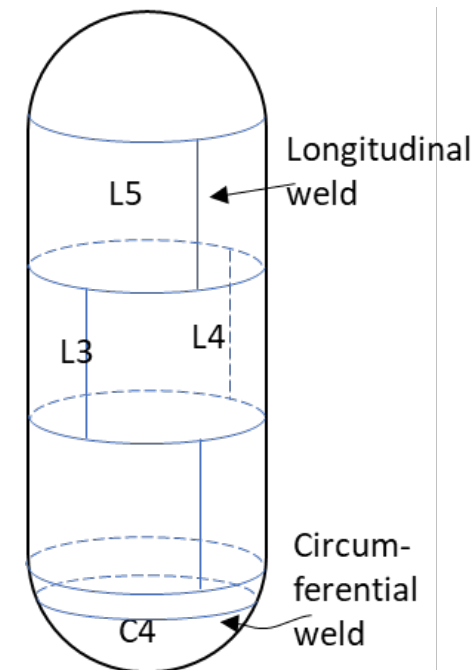
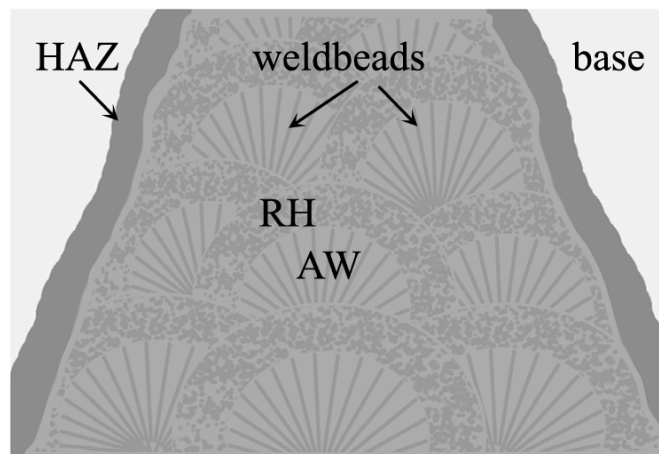
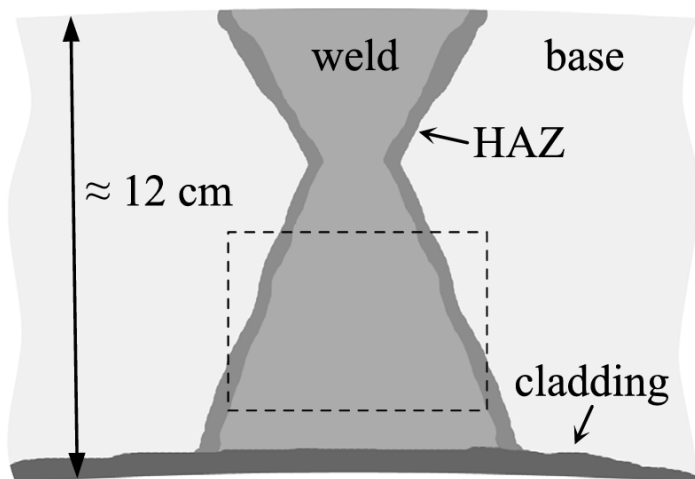
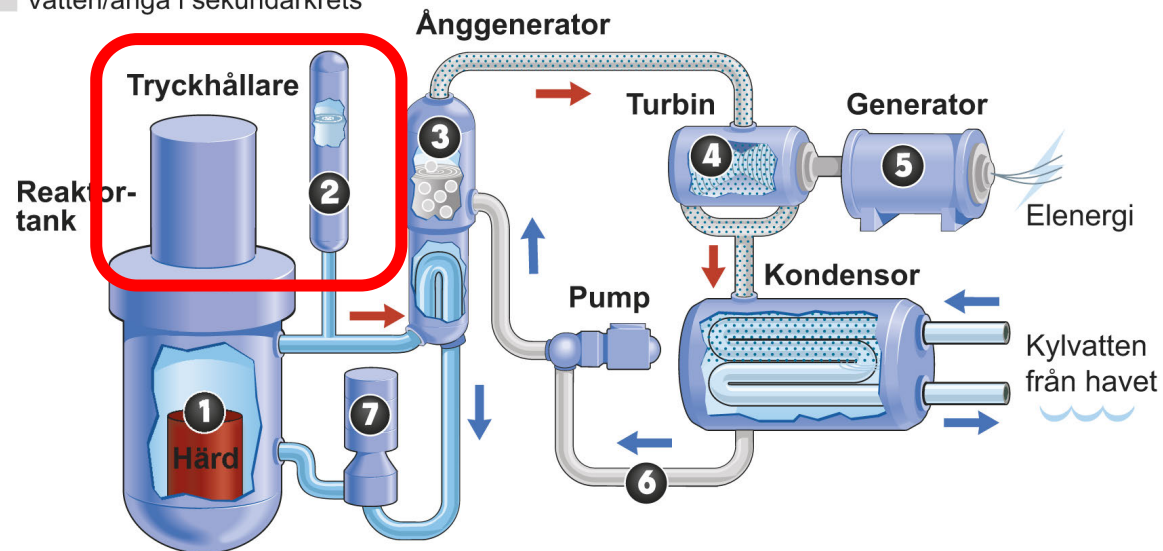
Materialkaraktisering för kärnkraftsindustrin



Åldringseffekter

- Hur åldras materialen i kärnkraftverk på grund av miljön och lasterna som delarna utsätts för?
- Förlängd drift → Säkerställa mekaniska egenskaper

■ Vatten i primärkrets
■ Vatten/ånga i sekundärkrets



Brottmekanisk provning

- Vi provar hur olika zoner i svetsen har åldrats.
- Vi använder oss av små provstavar.
- Provning i kall temperatur.

