



The northernmost University of Technology in Scandinavia  
World-class research and education

# Några riktlinjer för laserhybridsvetsars funktion i olika lastsituationer

Alexander Kaplan

Avd. Produktionsutveckling

Inst. TFM

Luleå tekniska universitet

*30 Years LASER Lab*





# Innehåll

- Om laserhybridsvetsning
- Fall hybridsvetsens toppsida avgörande under last
  - svetsgeometri, ytdetaljer, defekter
  - spänningsanalys genom FEA
  - utmattningsprovning och analys
  - riktlinjer
- Fall rotsidan avgörande (under last)
  - olika fog- och rotgeometrier
  - illustrativa och generaliserande riktlinjer

(resultat: VINNOVA-projekt HYBRIGHT, LOST, och NoFo-proj.)



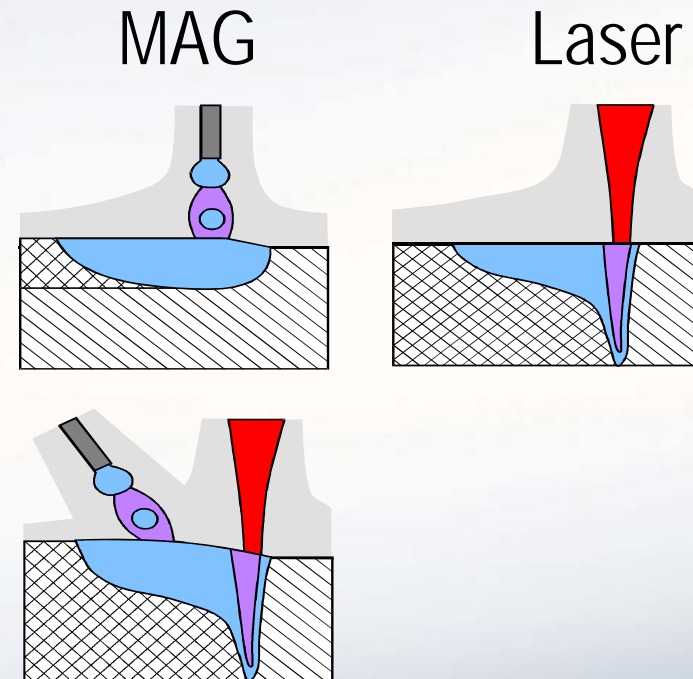
The northernmost University of Technology in Scandinavia  
World-class research and education

# Om laserhybridsvetsning

# Laserhybridsvetsning

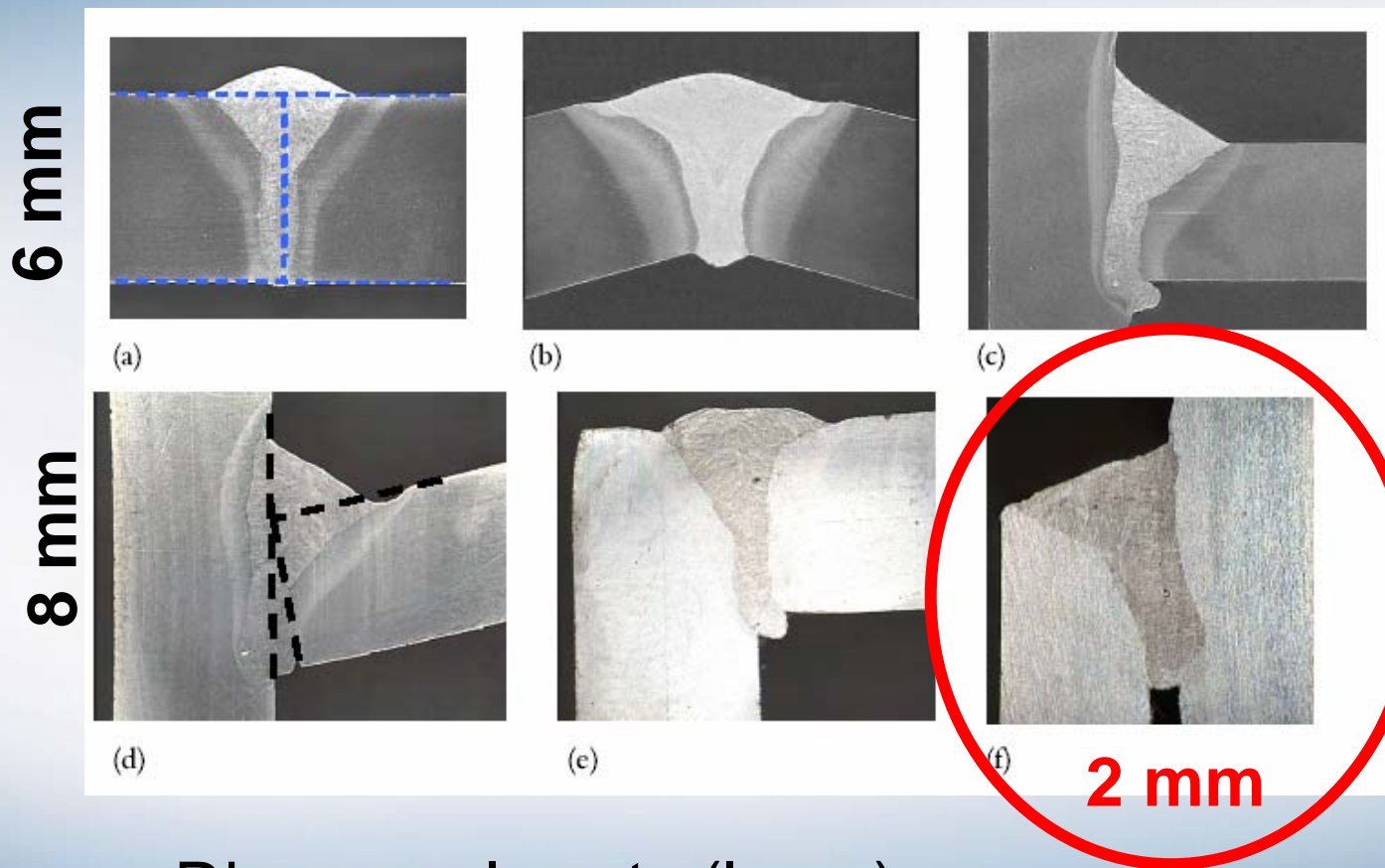
Kombination av 2 värmekällor:

- Laserstråle
  - djup svets ('laserfinger')
- Ljusbåge (MIG/MAG)
  - tillsatstråd: fyller spalt
  - formar ytan



Hybrid Laser-MAG

# Typiska tvärsnitt laserhybrid



Samma för tjockt som för tunt material

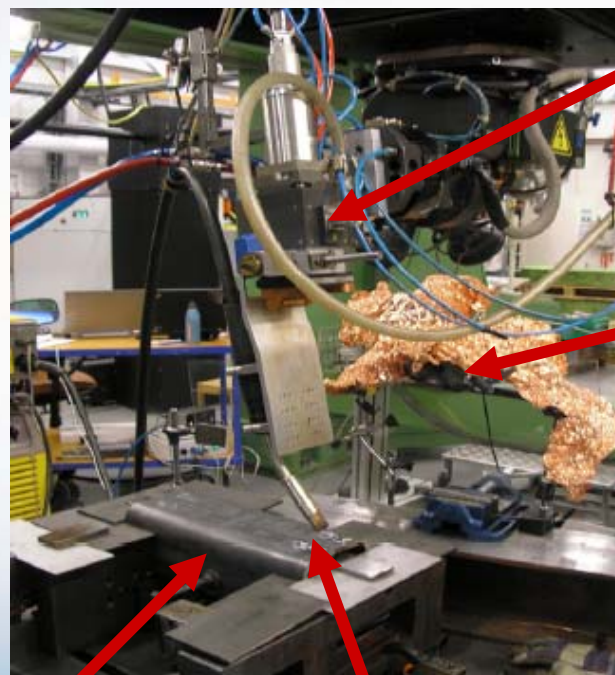
- Djup, smal svets (laser)
- Fyller spalt, formar ytan (MAG)



# LTU: 15 kW Yb:fiberlaser

Investering: 10 Mkr (maj 2008, IPG Laser AG, tyskland)

## Portalrobot



Laseroptik

Höghastighets  
kamera

Produkt

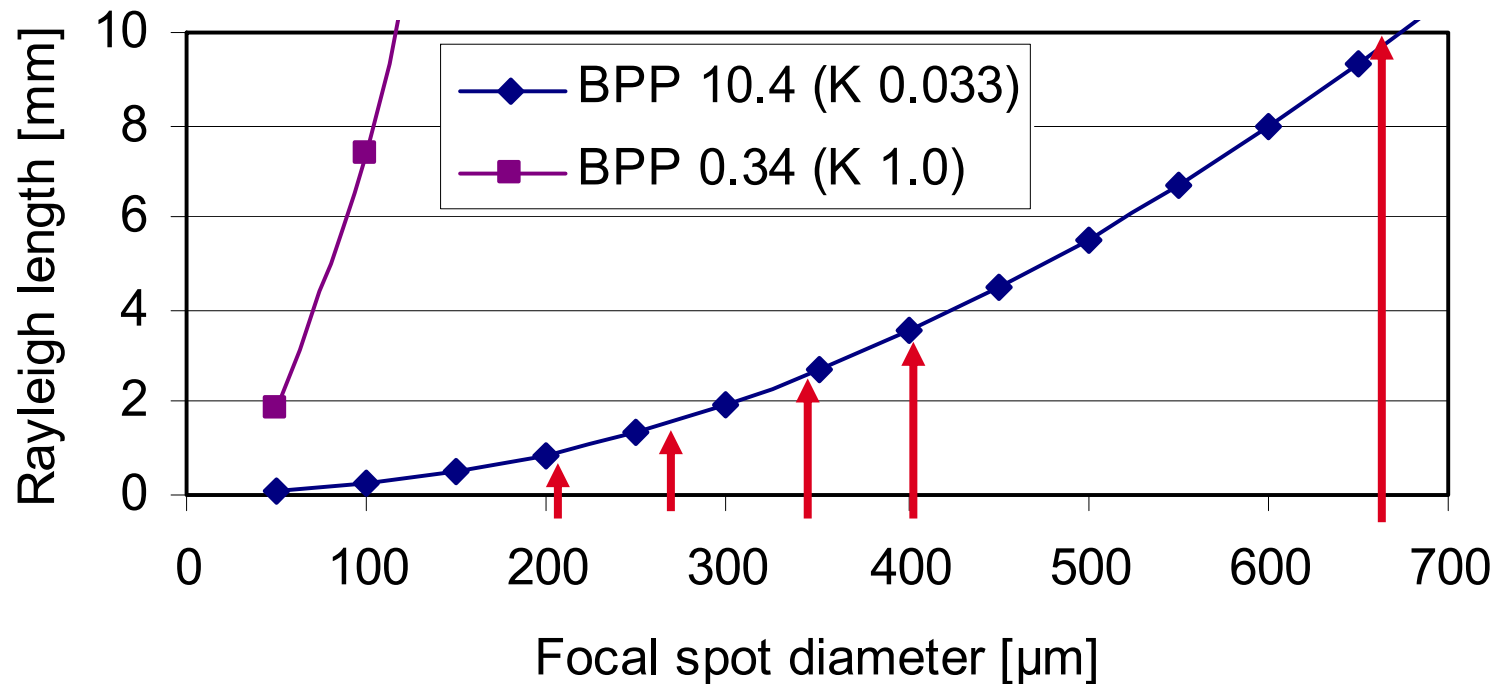
MAG-Pistol

# 15 kW Yb:fiberlaser

## Olika optik - olika fokuserad stråle

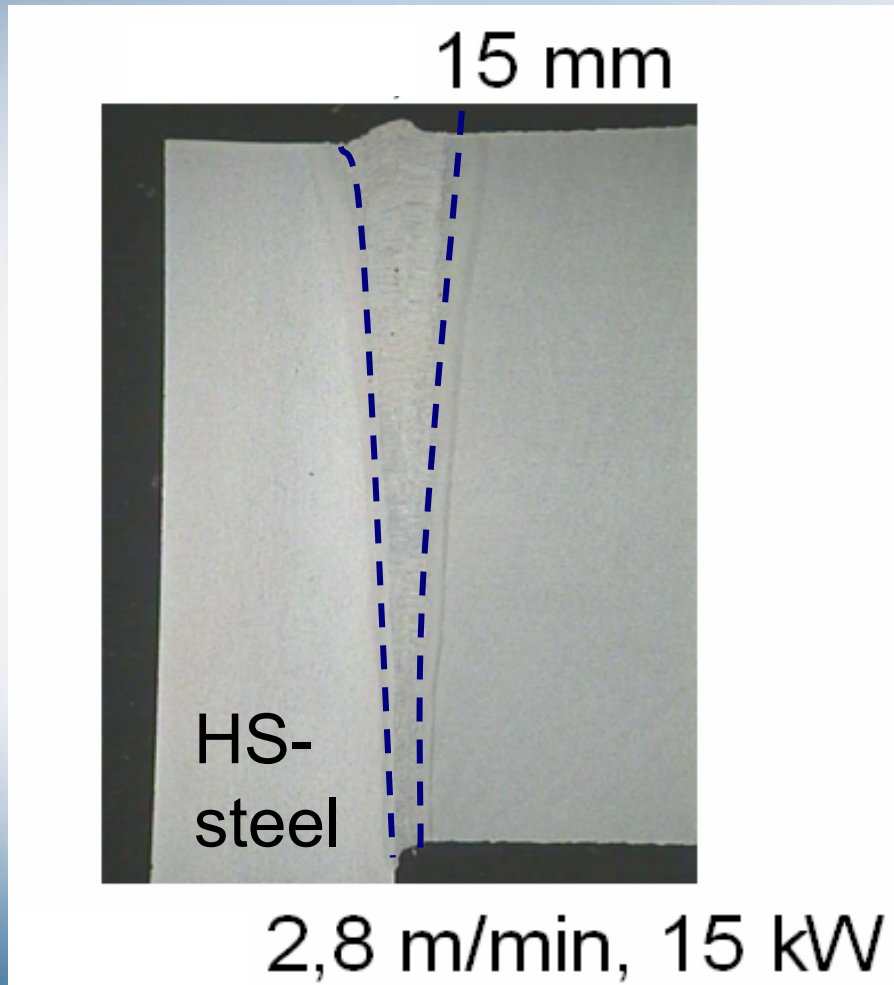
Strålparameterprodukt (BPP) 10.4 mm·mrad (strålkvalitet)

$$\text{BPP} = 10.4, K = 0.033 \quad (z_r = \pi / \lambda \cdot w_0 \cdot w_0 \cdot K)$$





# Autonom 15 kW-lasersvetsning

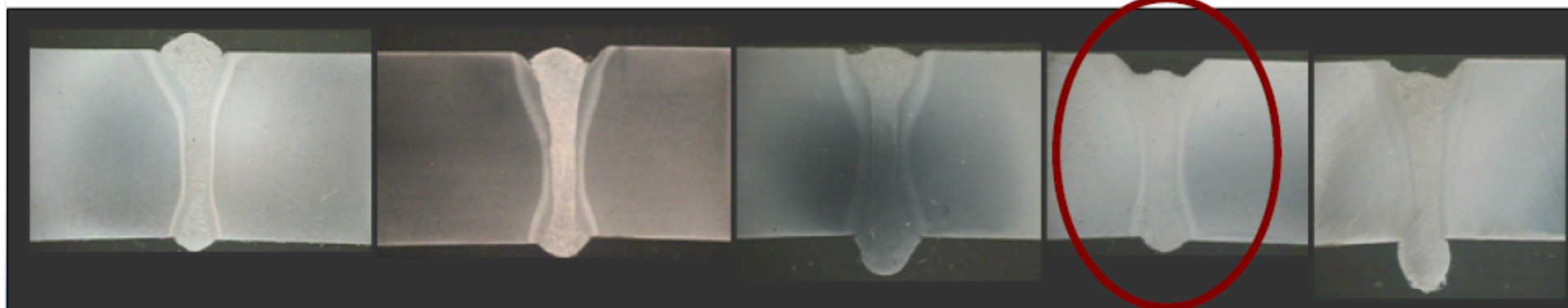


15 kW-laser:  
Ungefär 20 mm  
möjligt

Hybrid: även  
tjockare, beroende  
på fogtyp (V,Y)  
eller om dubbelsidig

# Hybridsvetsning av 10 mm stumfog

Höghastighetsfilmning (tråd, droppar, pulsad ljusbåge)



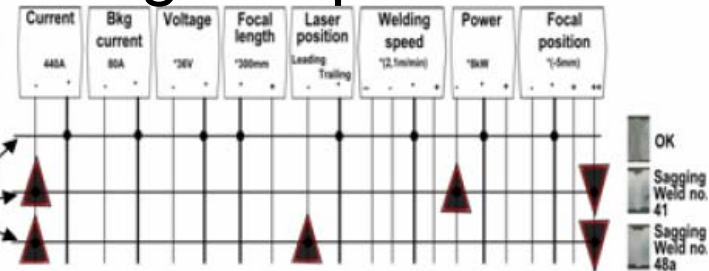
Tvärsnitt: 5 olika defektkategorier

# Parameter i hybridsvetsning

alla parametrar

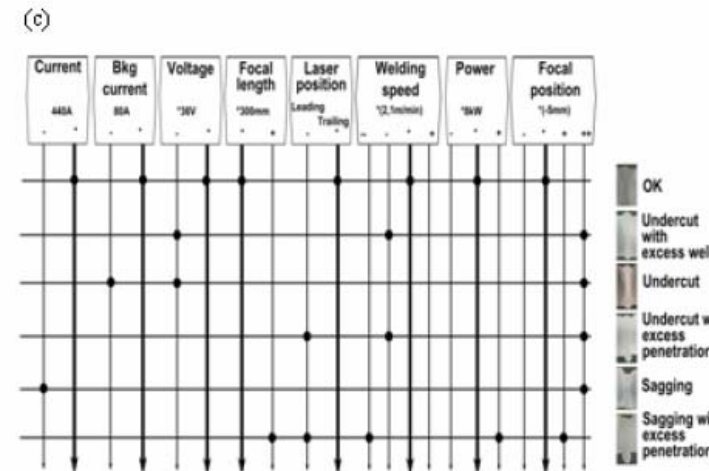
viktigaste parametrar

Weld no.	Laser parameters				Plate param.		MIG parameters													Grade	Camera		
	Power (kW)	Speed (m/min)	Focal depth (mm)	Focal length (mm)	Inclination angle (°)	Bead-to-plate depth (mm)	Joint separation (mm)	Prot. Gas (Micon)	Root gas (Micon)	Torch angle (°)	Power (W)	Frequency (Hz)	Current (A)	Backgr. current (A)	Wire feed (m/min)	Pulse time (ms)	Stick-out (mm)	Offset laser-wire (mm)	Slope (mm)			Tailing (+/-) (R)	Ke (R)
70	8	2,1	-5	300	7 throat	10	0,6 top, 0 root	25		50	36,00	210	440	80	12	2,5	20	3	9+	13	1,2	4	8
41	8	2,1	0	300	7 backing	10	1,0 top, 0,25 r	25		46	30,00	170	360	64	14	2,5	24	3	9+	13	1		8
48	10	1,9	0	300	7 backing	10	1,0 top, 0,1 r	25		59	30,00	170	360	64	14	2,5	24	3	9-	13	1	3	8



70 experiments in total  
reduced to 6 categories  
From 23 parameters 8  
showed favoured trends

Reduction to defect categories

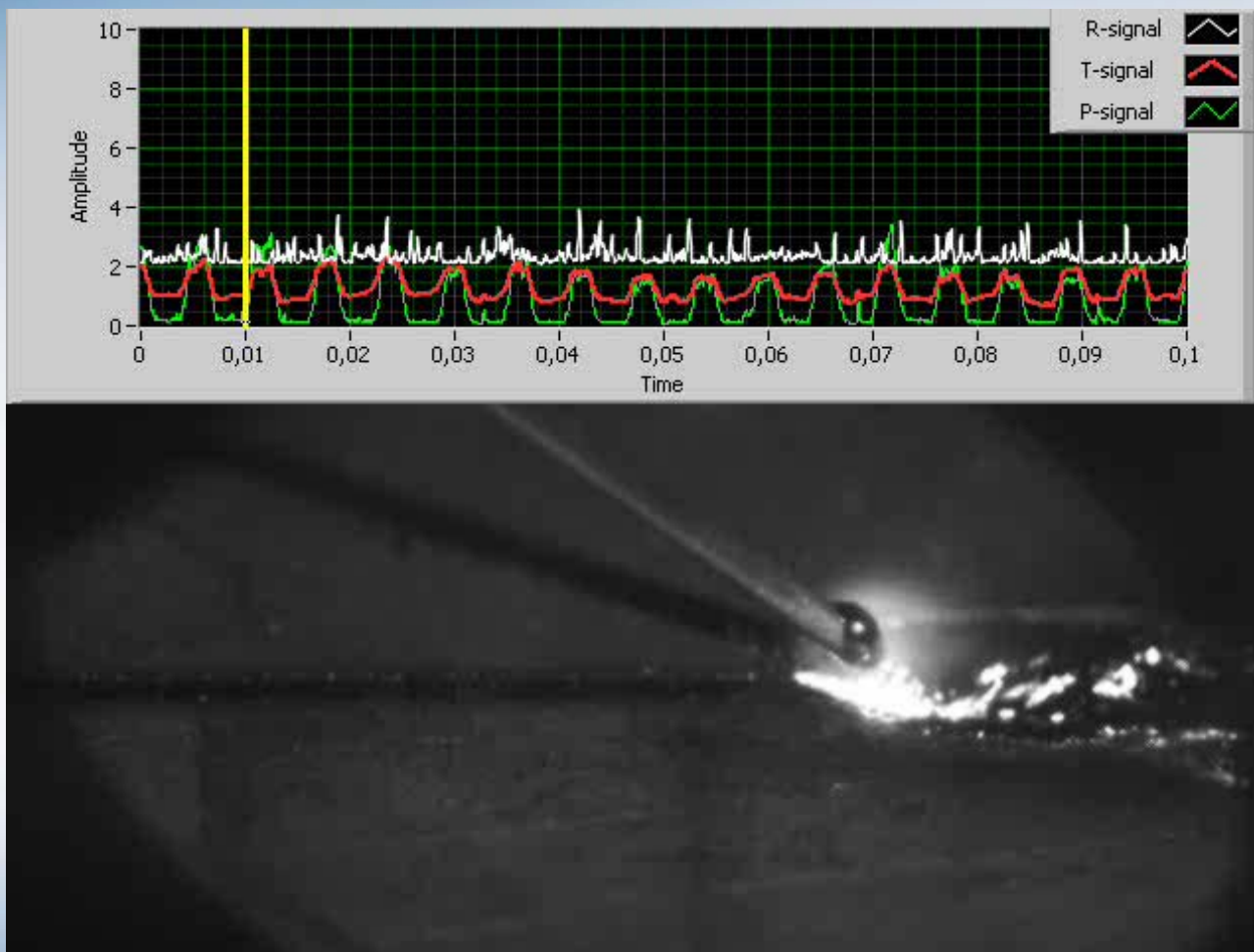


enskilda  
Kvalitetskategorier





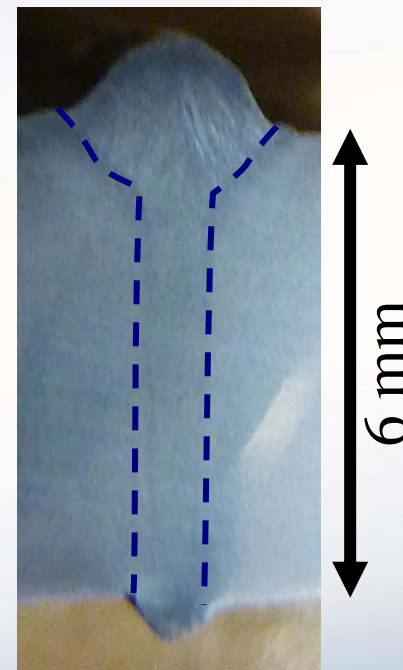
The northernmost University of Technology in Scandinavia  
World-class research and education





# Cargotec/HIAB demonstrator

**Kran: hexagonal balk, laserhybridsvetsad (pga spalt)**



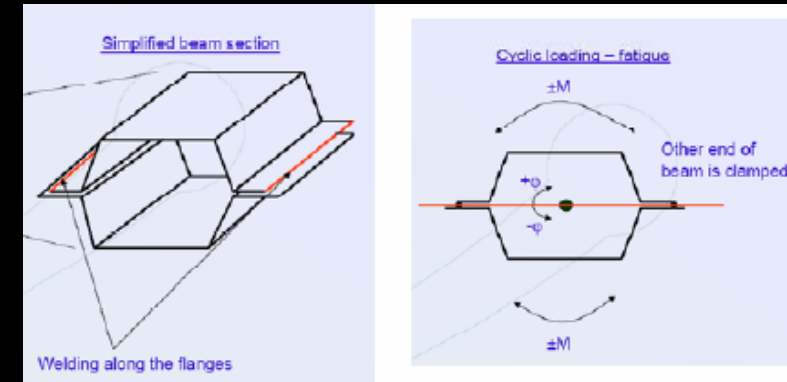
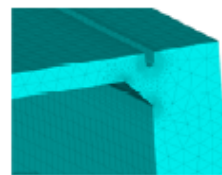
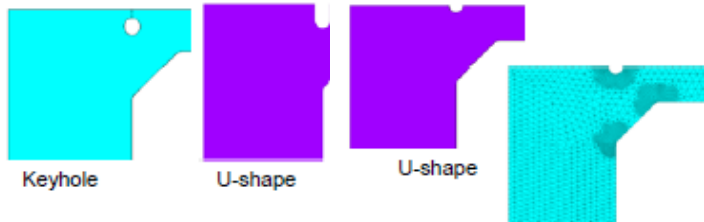


# Fler laserhybridsvetsstudier

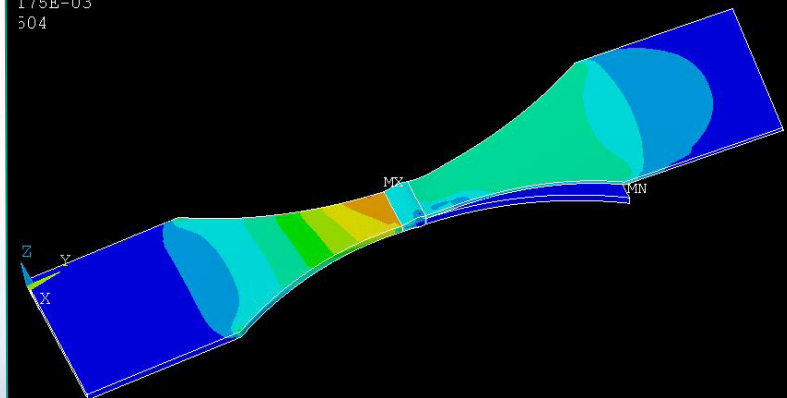


MAG welding

Laserhybrid welding



179B-03  
304





The northernmost University of Technology in Scandinavia  
World-class research and education

# Fall hybridsvetsens toppsida avgörande under last



# Laserhybridsvetsning av en excentrisk fog

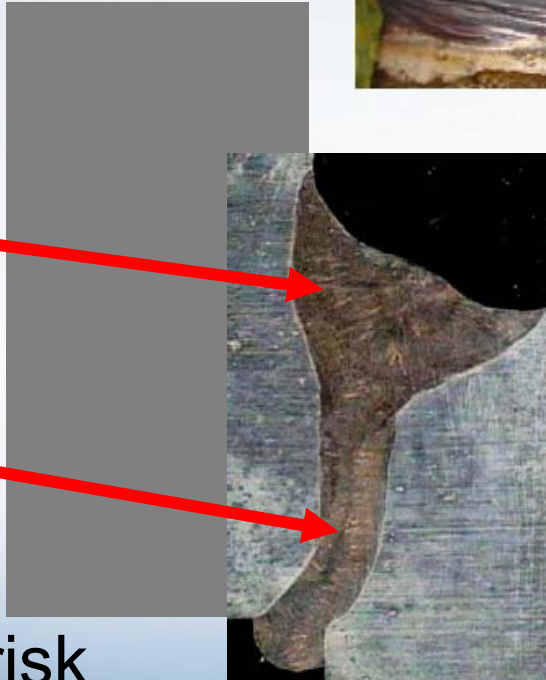
Ripples



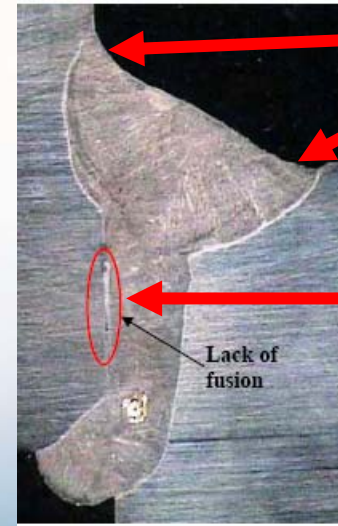
MAG+tråd

Laserfinger

Excentrisk  
stumfog  
(rostfritt)



10 mm



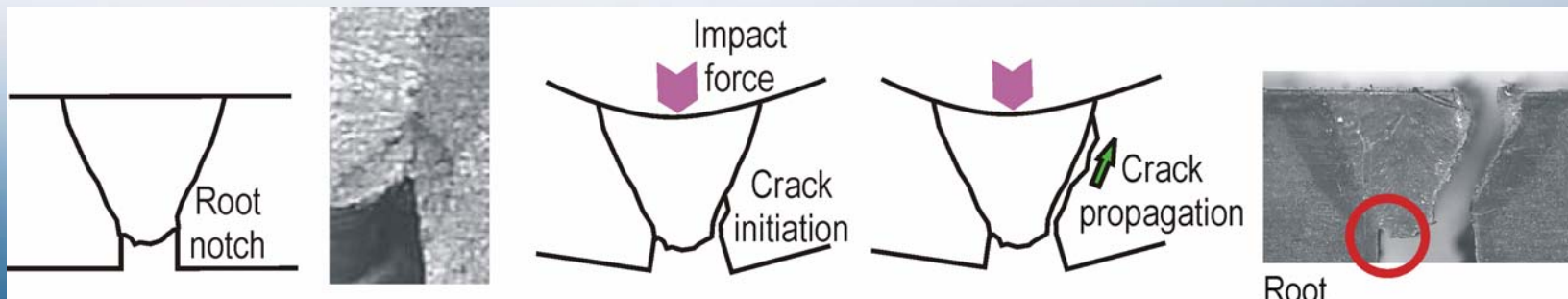
Svetstå

Bindfel

Lack of fusion

# Svetsprocess - Kvalitet - Last - Brott

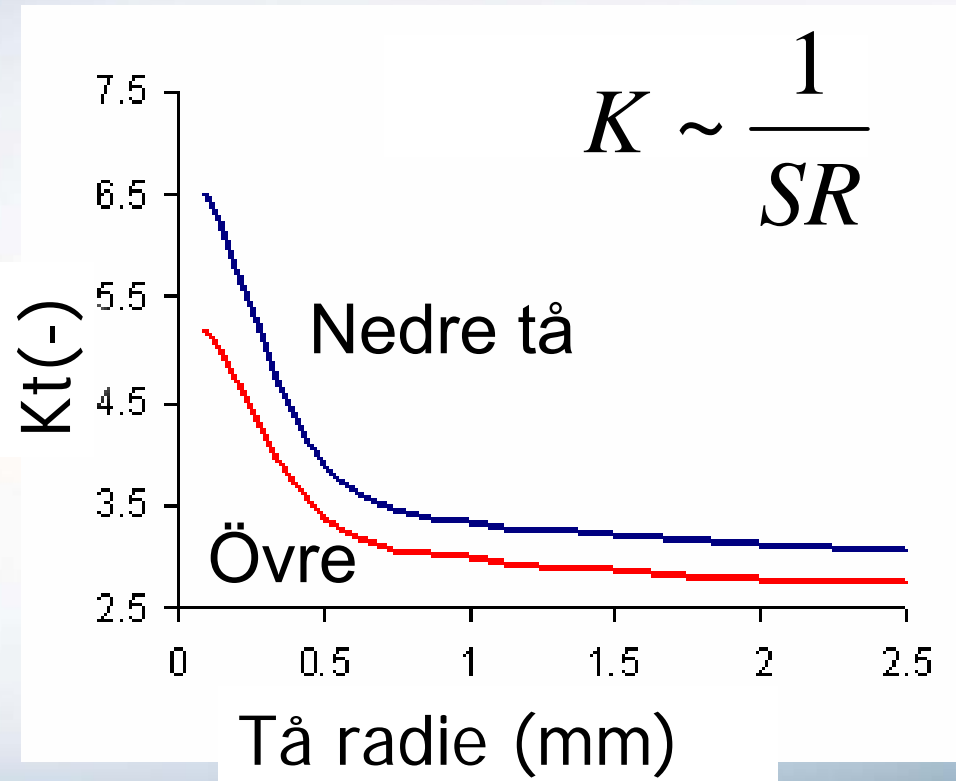
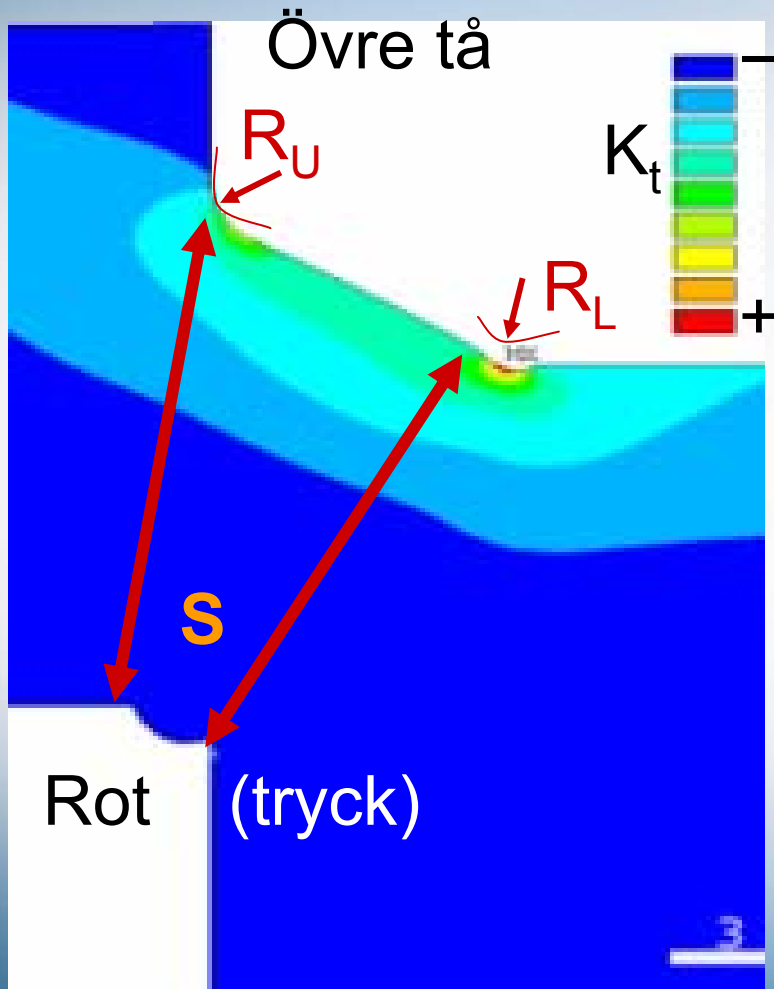
- 2 processer
- Länk: svetskvalitet



# Riktlinjer för en utmattnings- belastad (hybrid)svets

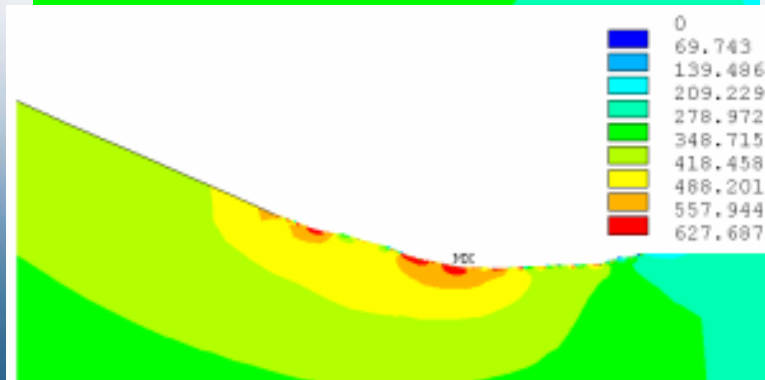
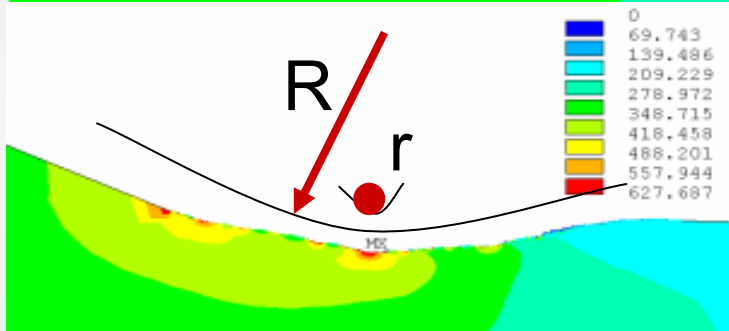
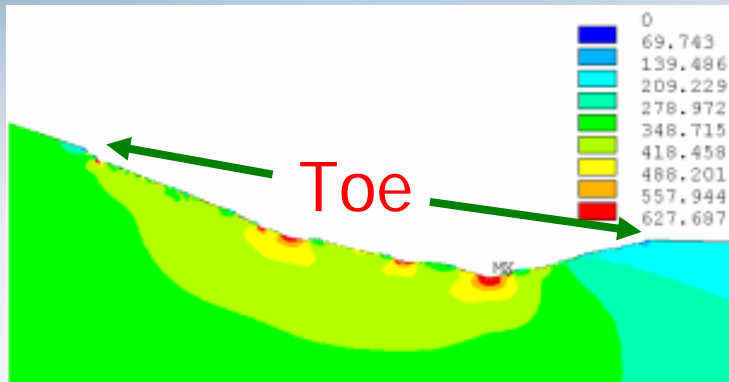
- Hur ser svetsvärnsnittet ut?
- Hur är lastsituationen (kraft → spänningsfält)?
- Får lastsituationen (3D) reduceras till tvärsnitt (2D)?
- Vilket område har tryckspänning-, vilket dragspänning?
- Var är kortaste avstånd? Finns det flera ställen?
- Var är minsta ytradie? Finns svetsdefekter?
- Finns det ytgeometrier som skapar mindre radier?
- Hur fördelar sig lasten? Spänningshöjande punkter?
- Är det tydligt – eller "tävling" mellan olika ställen?

# Last: FE-spänningsanalys

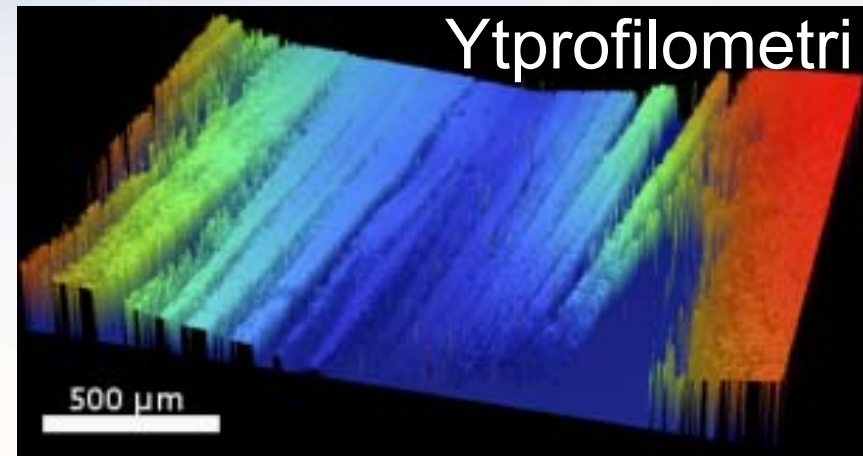


Svetstå: spänningshöjare

# Ripples på svetsytan



3 locations

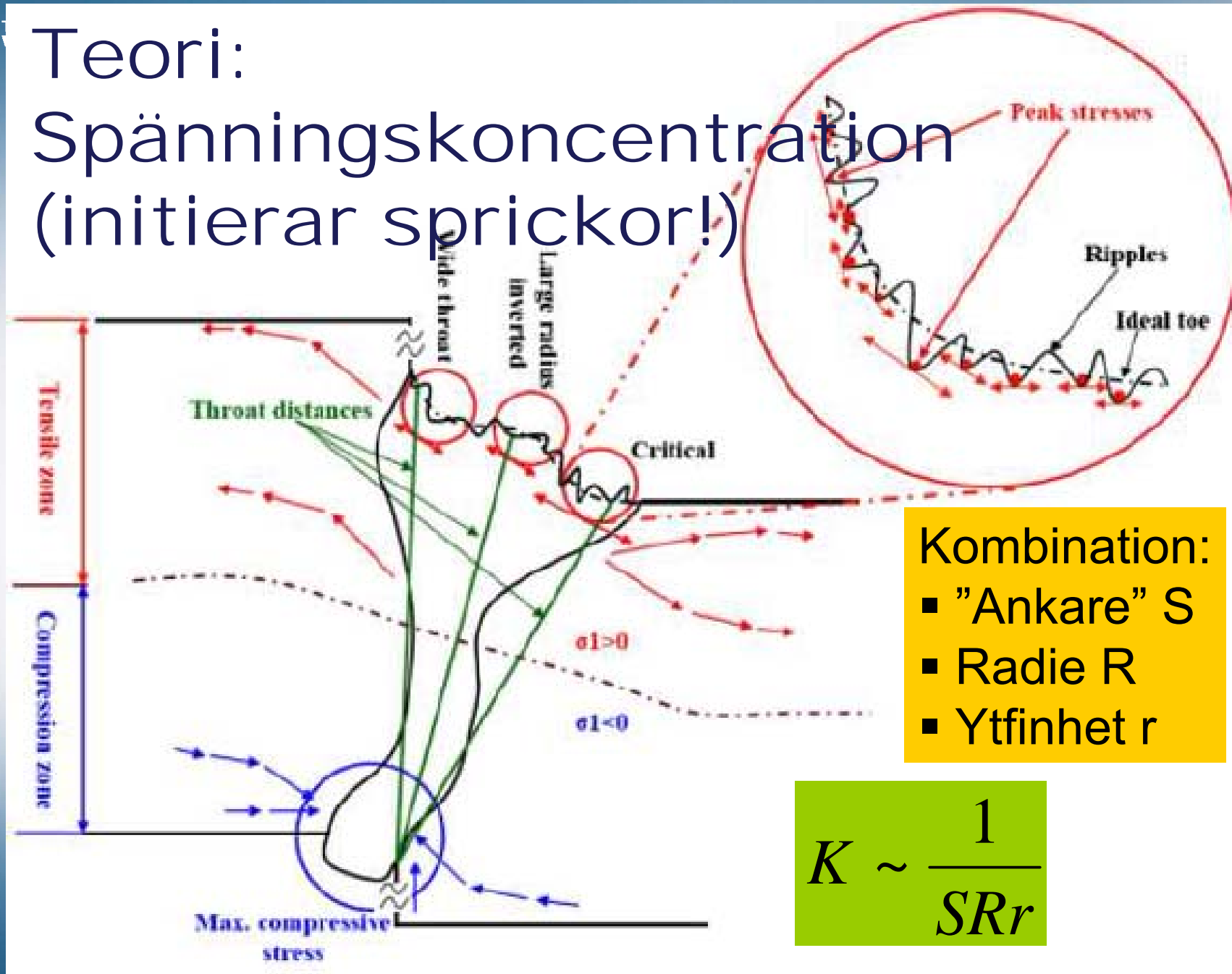


$$K \sim \frac{1}{SRr}$$

FEA : Ripples ökar spänningen,  
kan initiera sprickbildning  
(fast utbredning  
är oberoende)

L

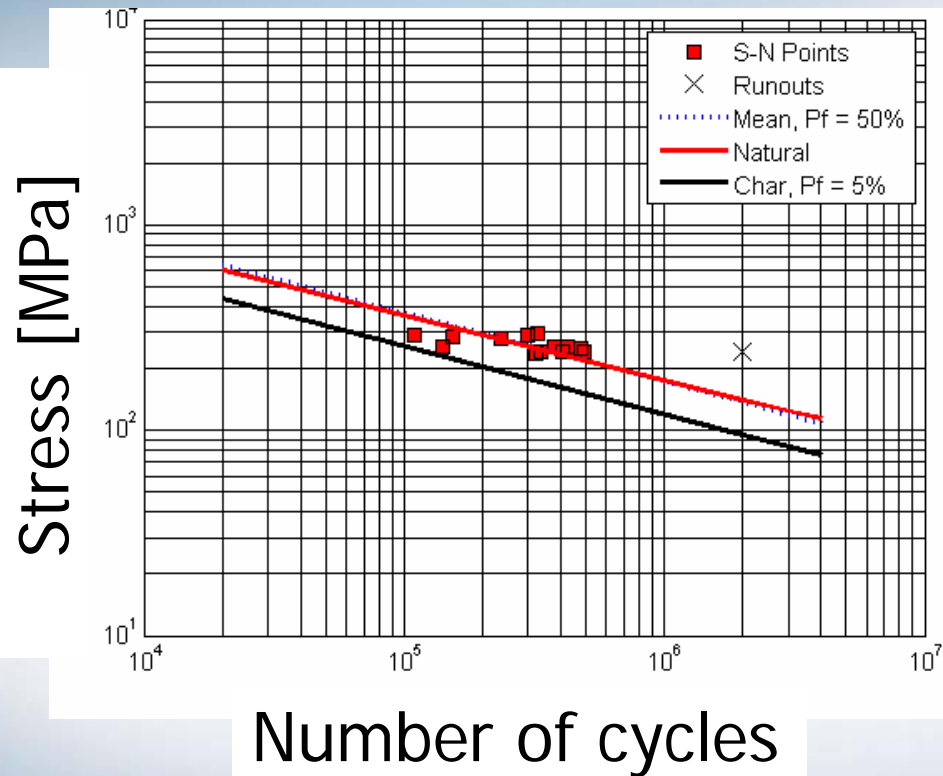
# Teori: Spänningskoncentration (initierar sprickor!)



- Kombination:
- "Ankare" S
  - Radie R
  - Ytfinhet r

$$K \sim \frac{1}{SRr}$$

# Utmattningsprovning; SN-diagram



Sprickor inuti svetsen vid  
svetstår

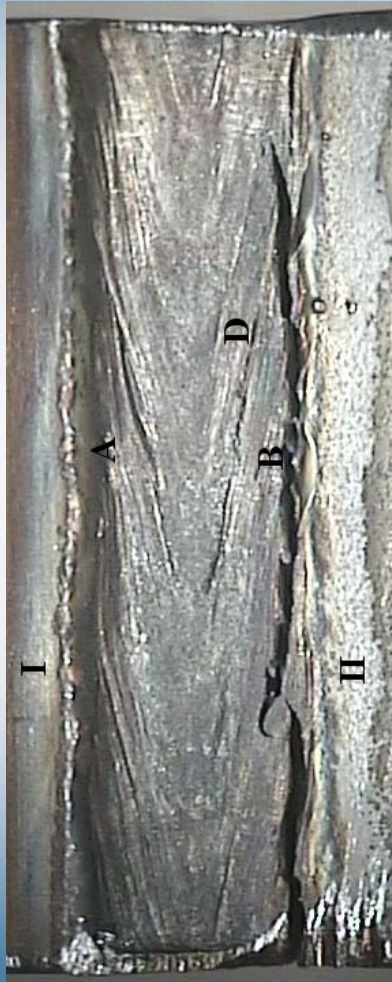


IIW standard slope:  $m=3.0$  (MAG)

Här:  $m=3.16$  (hybrid → bättre)



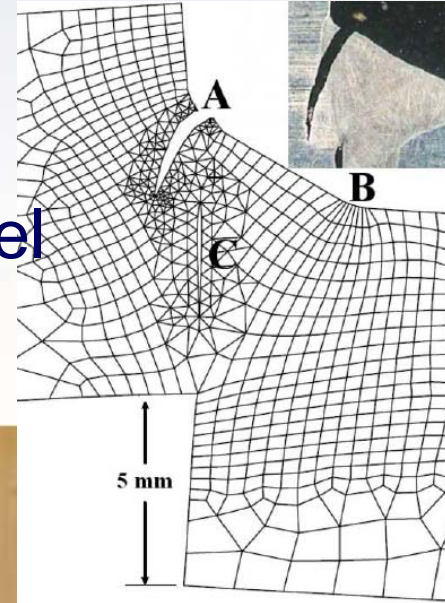
# Utmattningsprovning; sprickor



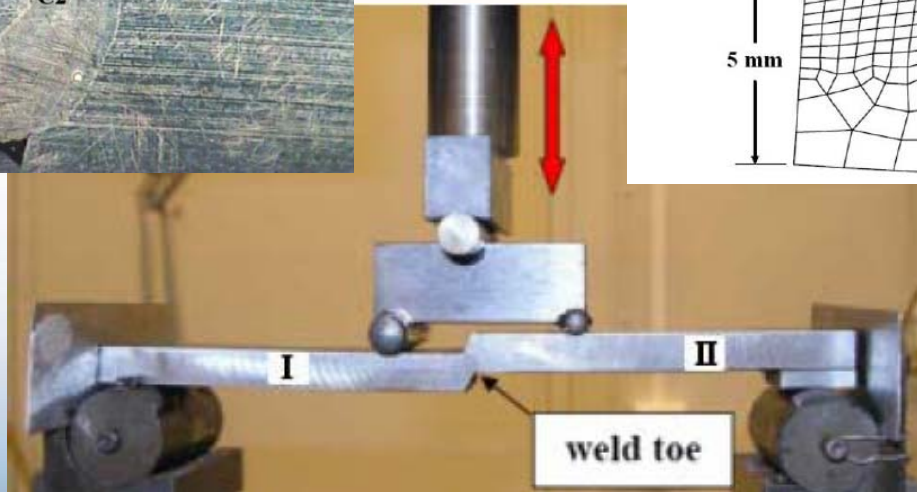
Övre- Nedre-svetstå



C: Bindfel



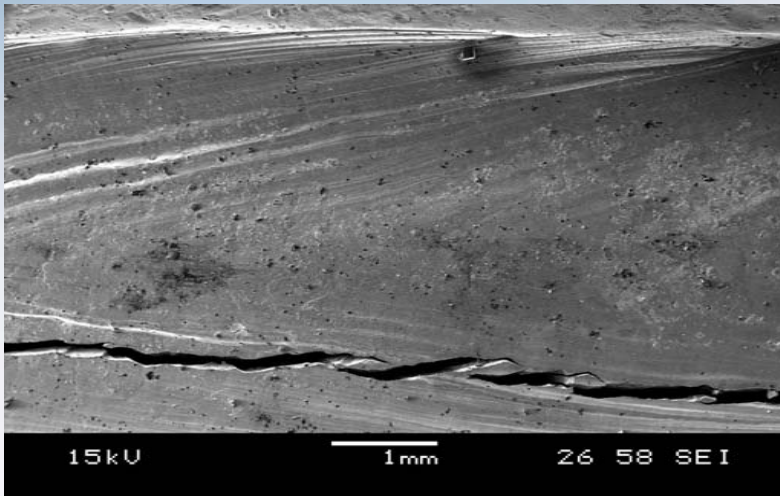
FEA



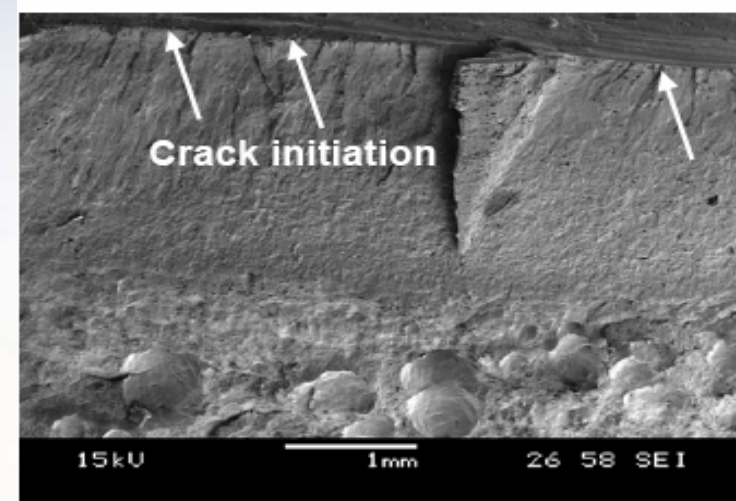
4-punktsböjning



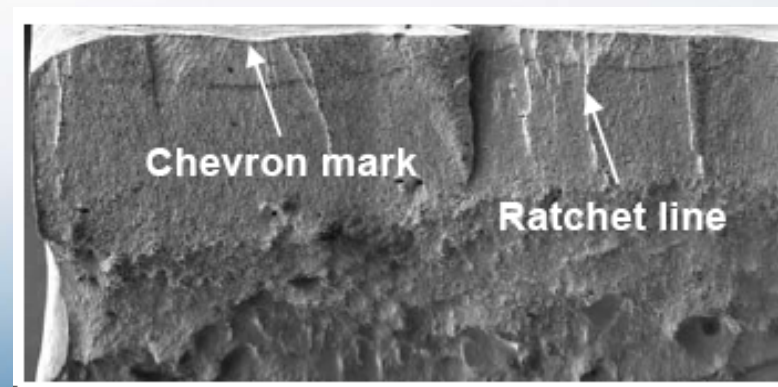
# Fractography



Ripple styr sprickan



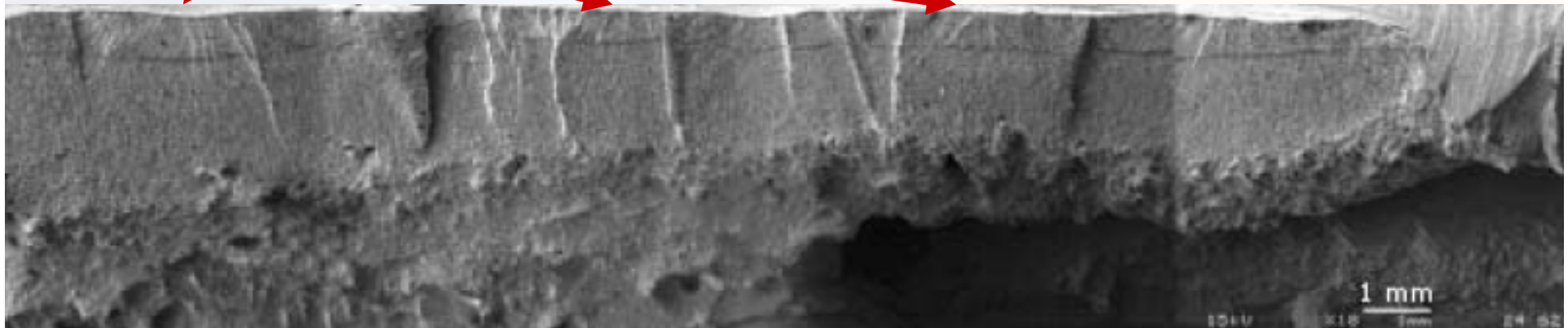
Spricka vid nedre tå





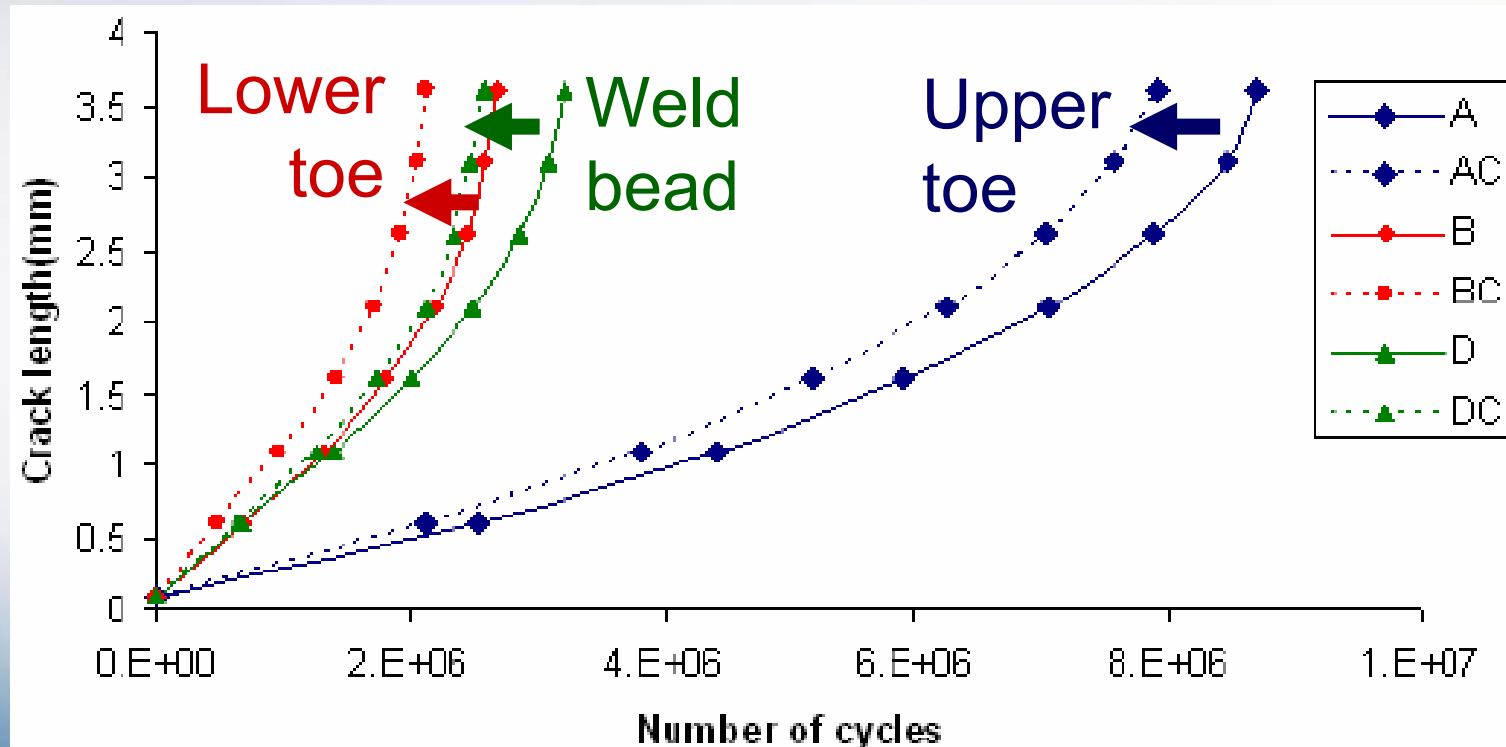
# Brottytan längst svetsen

Sprickinitiering



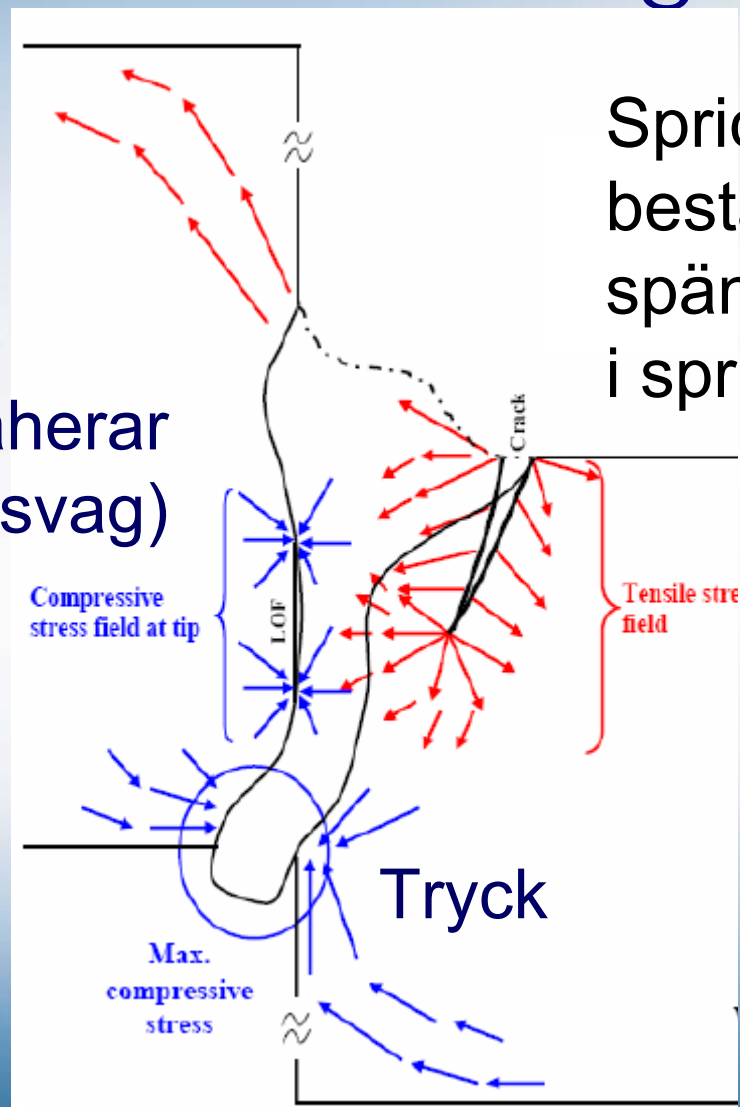
# Utmattningslivstid (FEA); olika sprickstartpunkter, LOF

Livstid minskas här bara ~10-15% genom bindfel (LOF)



# Illustrativ förklaring: sprickbildning

Bindfel attraherar  
fältet (fast svag)



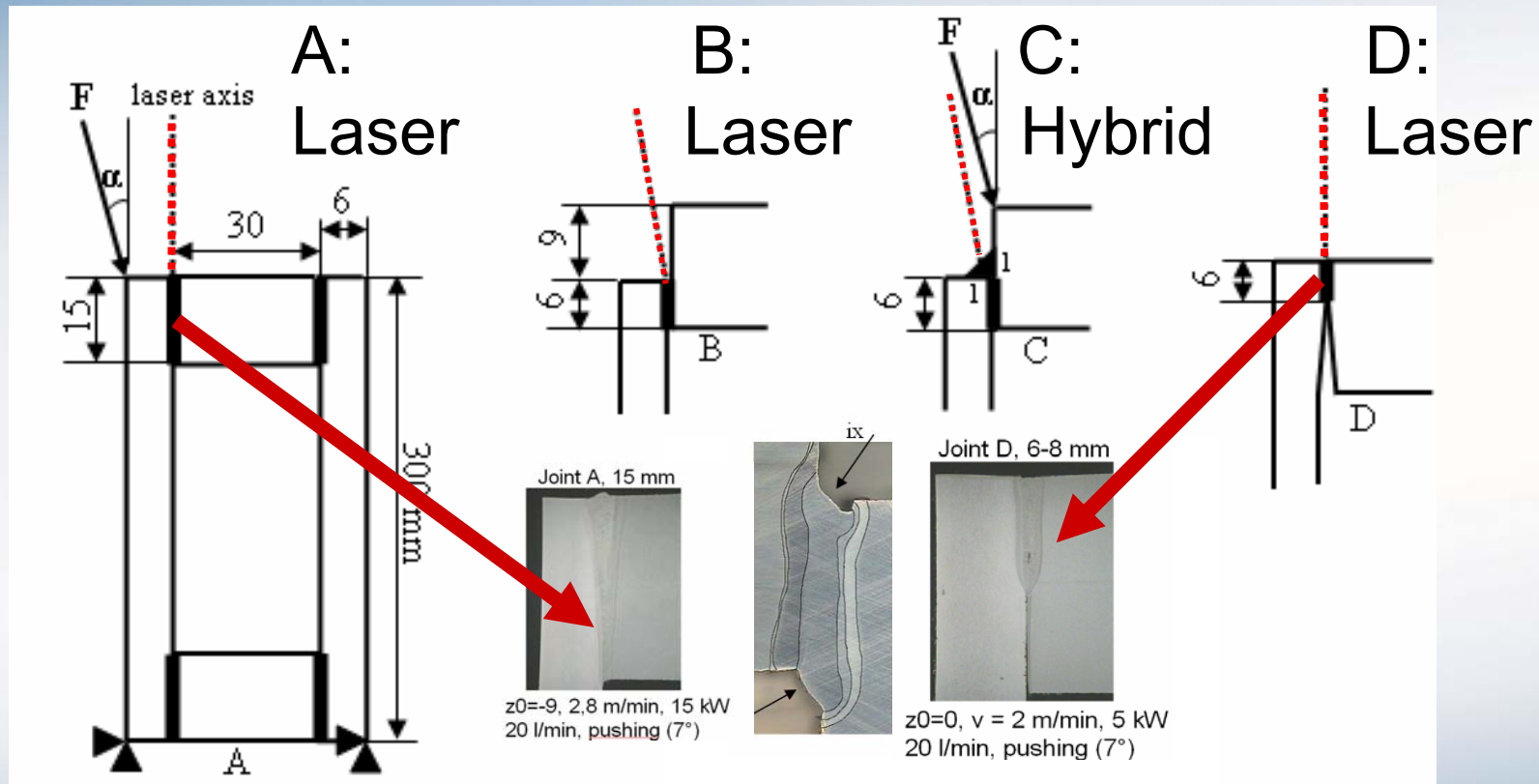
Sprickutbredning  
bestämd genom  
spänningsinriktning  
i sprickspetsen



The northernmost University of Technology in Scandinavia  
World-class research and education

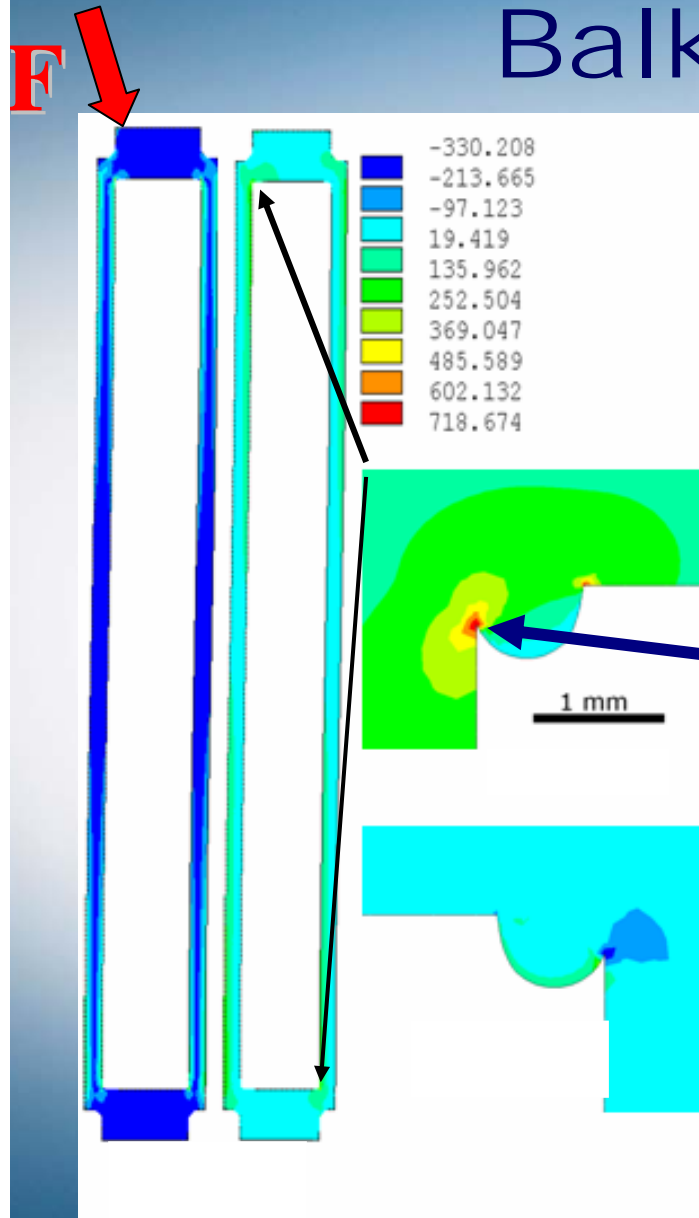
# Fall rotsidan avgörande (under last)

# Kranbalk: 4 fogtyper jämfört



- ❑ Balk, höghållfast stål, 4 möjliga fogtyper
- ❑ Förenklad last: 2D,  $10^\circ$  sned kraft i hörnen

# Balktvärsnitt: FEA av spänningsfält



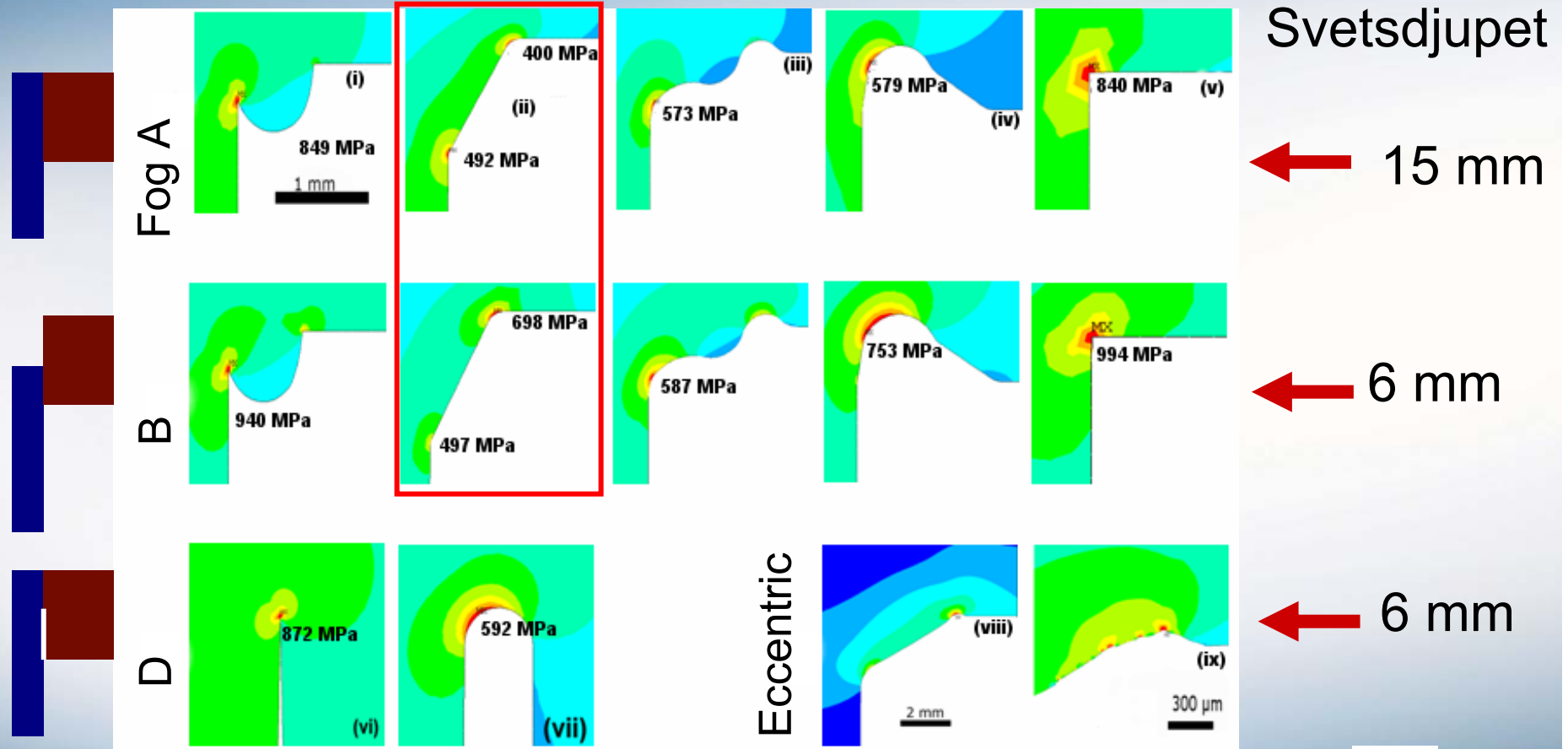
Vänster upp (och höger ner) roten:  
dragspänning → kritisk för sprickning

Koncentration pga kortaste  
“ankare” och skarp rot

Höger upp roten: tryckspänning →  
okristiskt

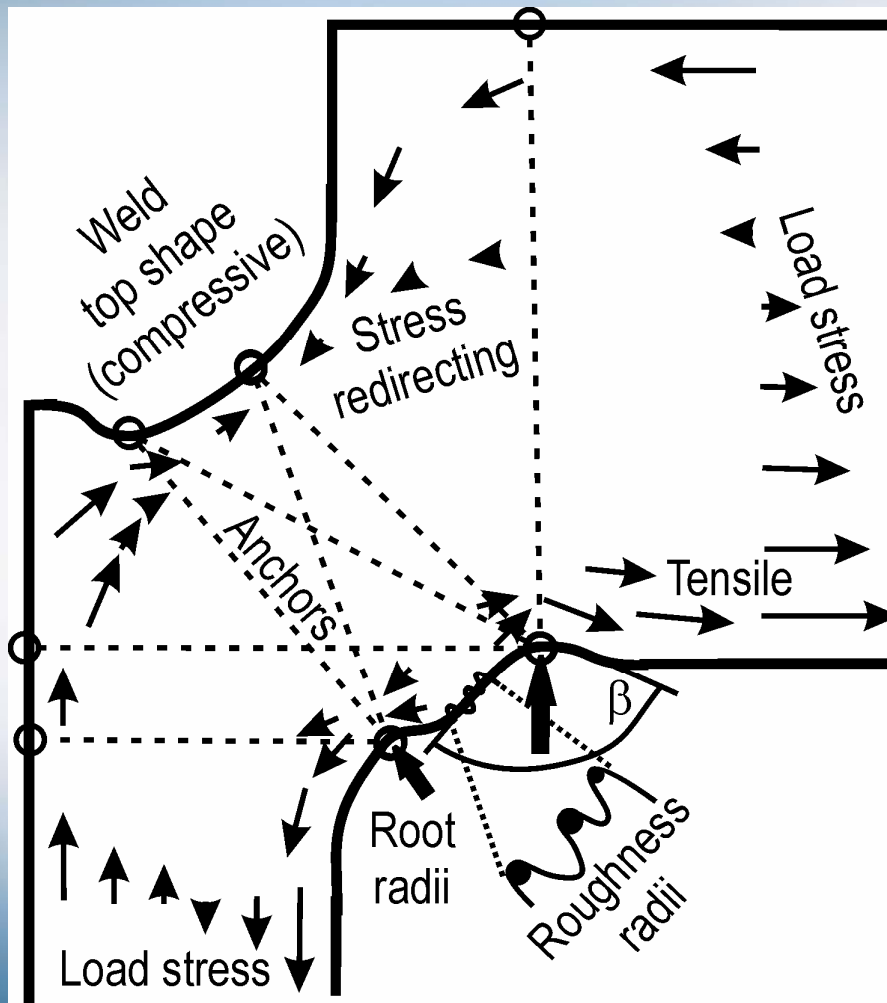
Topp också okritisk

# Rotspänningsfält för olika fogar och rot



Kortaste "ankare" och minsta radie leder till hög spänningskoncentration

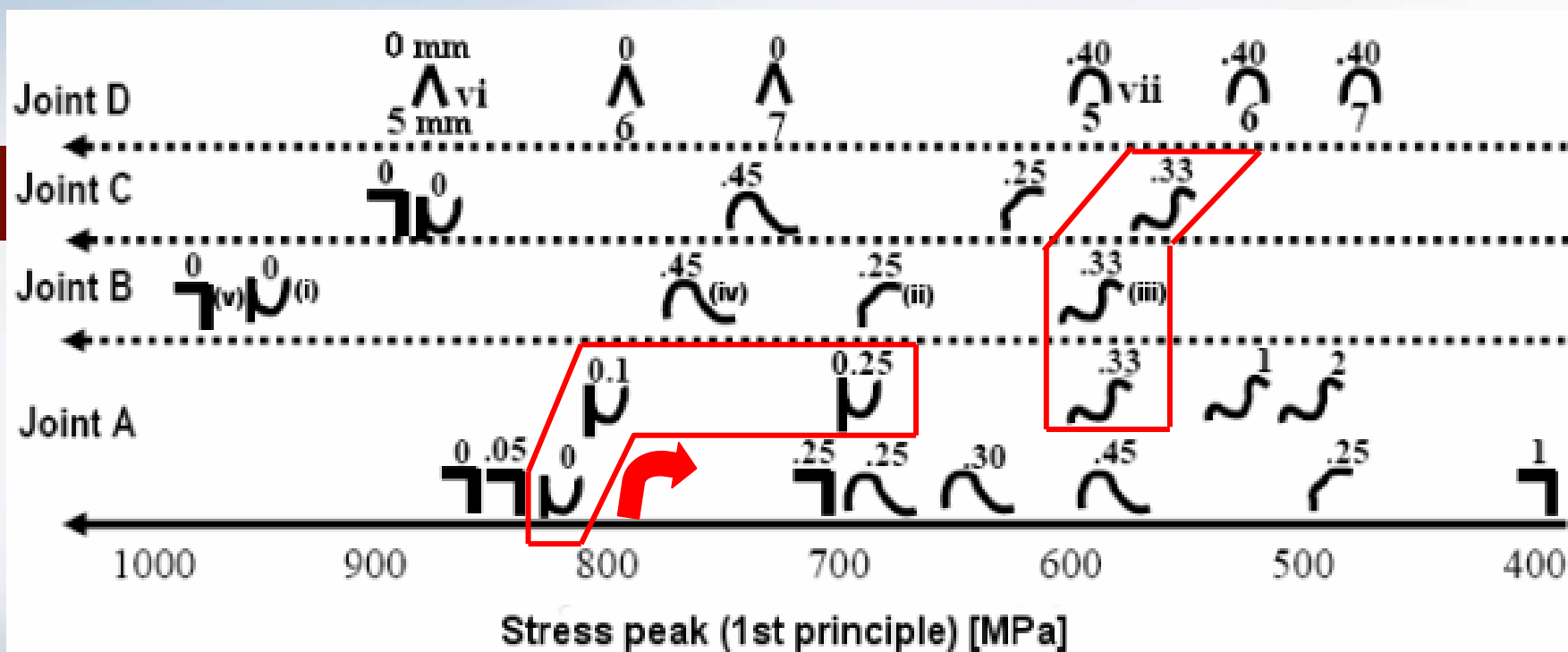
# Illustrativ teori



Mekanismer som bidrar till spänningskoncentration:

- “Ankarlängd”
- Yt-/tå radie
- Öppningsvinkel
- Radie ytfinhet

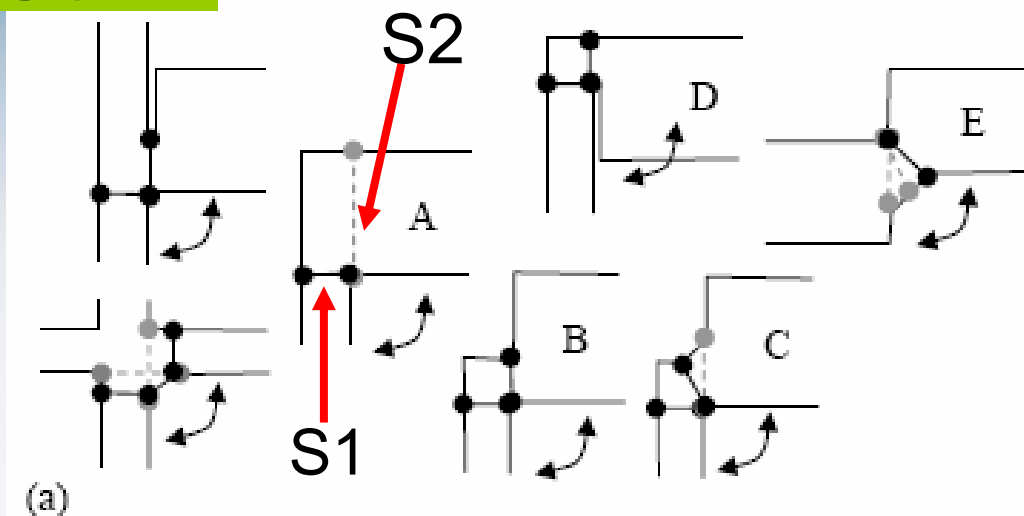
# Illustrativt diagram: Spänningkoncentration per fog och ro



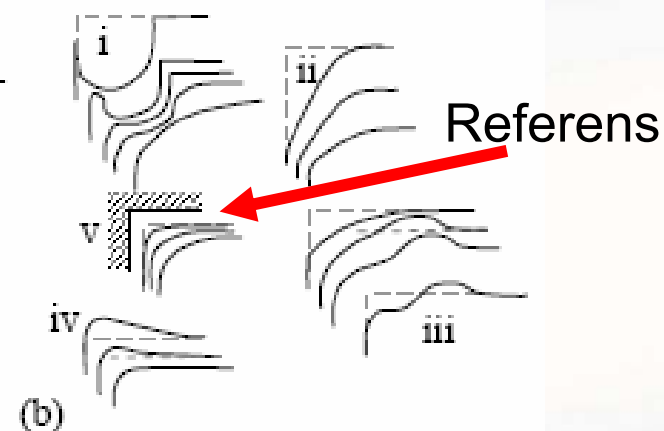
Rotövergång från skarp till jämn  
minskar spänningskoncentrationen

# Illustration av trender

## Fogtyp



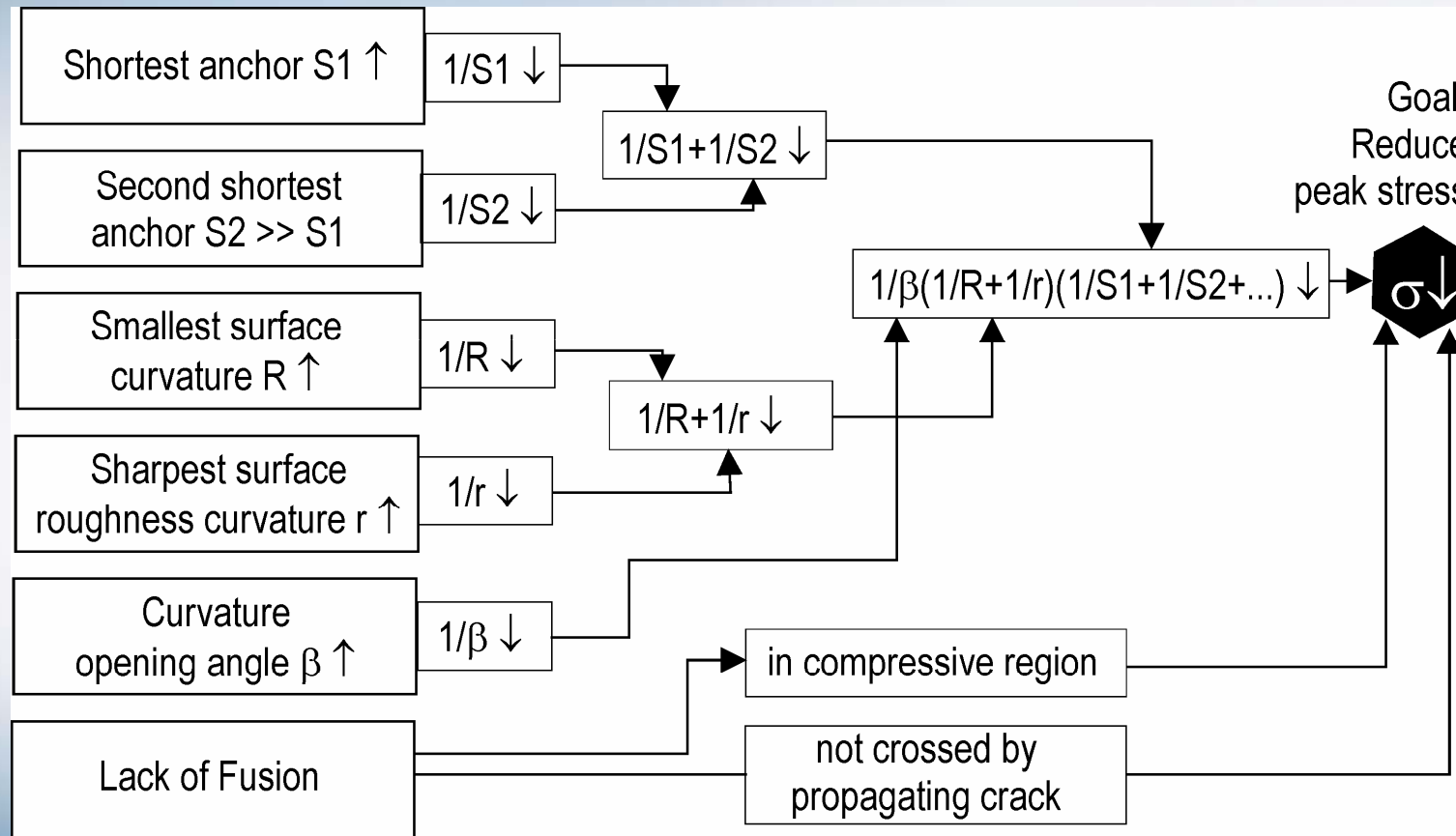
## Rottyp



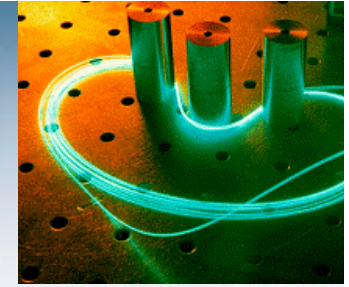
- ❑ Längden S2 av “sekundärankaret” bidrar väsentligt om den närmar sig längden av “primärankaret” S1
- ❑ Övergång från en rotkategori till en annan, om liknande
- ❑ “Ankarlängd”+rotradius+öppningsvinkel = spetsspänning



# Ny dokumentation: Tuning Flow Chart (TFC)



Trender för att minska (“tune”)  
spänningskoncentrationen  
genom att ändra svetsgeometrin



# Slutsatser

- Utmattningslast: max. spänning initierar sprickor
- Beroende på lastfall: topp- eller rotgeometri avgörande
- Hybridsvetsning (tråd) kan forma svetsens toppsida
- Rotsidan: liknande som autonom lasersvetsning
- Ställe med max. spänning: sprickinitiering
- Om tillåtet, förenkla från 3D till 2D-last
- Max. spänning: kombination  $1/(\text{”ankare”} \times \text{radie})$
- Genom riktlinjer kan geometripåverkan bedömas
- Generalisering av regler oftast möjligt



**Game  
over**