



Studsvik

***SCC-TILLVÄXT I BWR-NWC FÖR
LÅGLEGERAT TANKSTÅL MED
MELLANHÖGA SVAVELHATER
PROVAT VID HÖGA
SPÄNNINGSINTENSITETER***

Martin Bjurman

2019-11-07



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Svenska Materialgruppen
MG
VATTENFALL



BAKGRUND

- Svenska internpumpsreaktorer (BWR) körs med normalvattenkemi (NWC)
- Höga spänningsintensitetsfaktorer (K-värden) har räknats fram för vissa positioner i reaktortanken
- I autoklavförsök har höga SSC-tillväxhastigheter observerats redan vid 3-5 ppb klorid, vilket genererat förnyat intresse för SCC tankstål.
- EPRI-BWR Chemistry Guidelines action level 1 har därför reducerats från 5 till 3 ppb klorid
- Få datapunkter finns för K högre än 50 MPaVm i plåt med svavelhalt i övre änden av *låga S-halter*

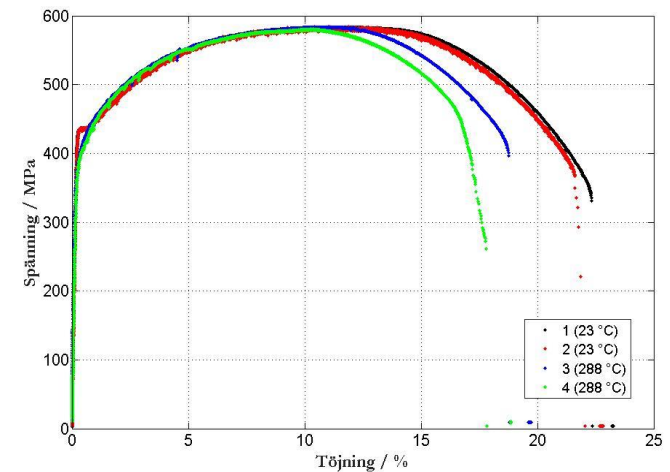
MÅL

Att studera SCC i tankstål med mellan hög S-halt (0.011%) i BWR-NWC-miljö vid $K = 50-70 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ med, och utan cykling. Effekten av förhöjda kloridhalter inklusive kloridtransienter studeras

MATERIAL

- Tryckkärlsplåt från Barsebäck (arkivmaterial)
- ASTM 533 Gr. B Class 1 med 0.011% S
 - En konservativ men relevant S-halt för svenska reaktortryckkärl

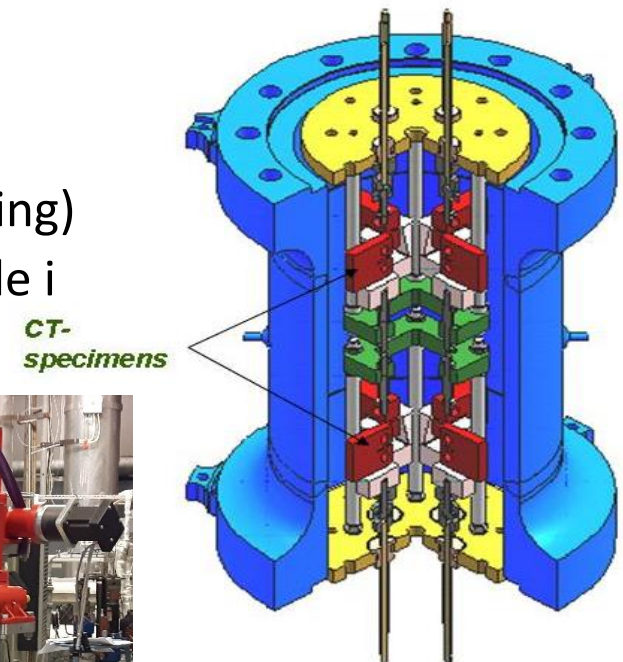
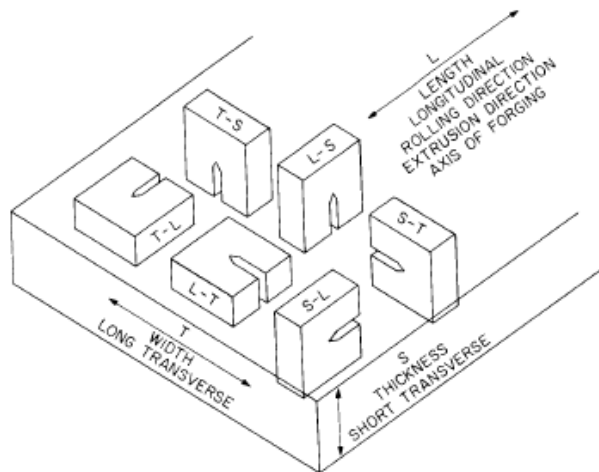
Test #	Temp. [°C]	Rp _{0,2} /MPa	Rm /MPa
1	RT	437	583
2	RT	434	585
3	288°C	400	584
4	288°C	399	580



Element	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	S	P	Cu	Sn	Co
Wt.%	0.185	1.365	0.275	0.59	0.12	0.525	0.011	0.011	0.11	0.017	0.022

PROVNINGSUTRUSTNING

- Multi-CT autoclav med 8 aktivt belastade prov
 - Spricklängd mäts online med DCPD
 - Simulerad BWR/PWR-miljö
 - Online ECP-mätning
- 40 kN lastkapacitet (elektromekanisk lastanordning)
- 1.5 TCT med spricka i L-S riktningen, förutmattade i luft



KEMIPARAMETRAR

- Simulerad BWR-NWC i genomflödesautoklav med 30 l/h flödeshastighet
- Kloridnivåer
 - 0, 3, 8, 18, och 90 ppb
 - Valda i förhållande till EPRI BWR Chemistry Guidelines action levels 1, 2 och 3
- O₂-halt i utloppsvattnet, 0.5, 1 or 2 ppm
- Krav att ECP uppmätt i autoklaven >0 mV

Pre-oxidation and startup	400h	0 ppb Cl 480h	3 ppb Cl 210h	Restart	0 ppb 100h	3 ppb 240h	8 ppb 310h	18 ppb 260h	90 ppb 72h	18 ppb 28h	0 ppb 36h

Control Parameter	Action Level 1	Action Level 2	Action Level 3
Conductivity [μS/cm]	>0.3	>1.0	>5.0
Sulfate [ppb]	>5	>20	>100
Chloride [ppb]*	≥3	>20	>100

PROVNINGSMATRIS

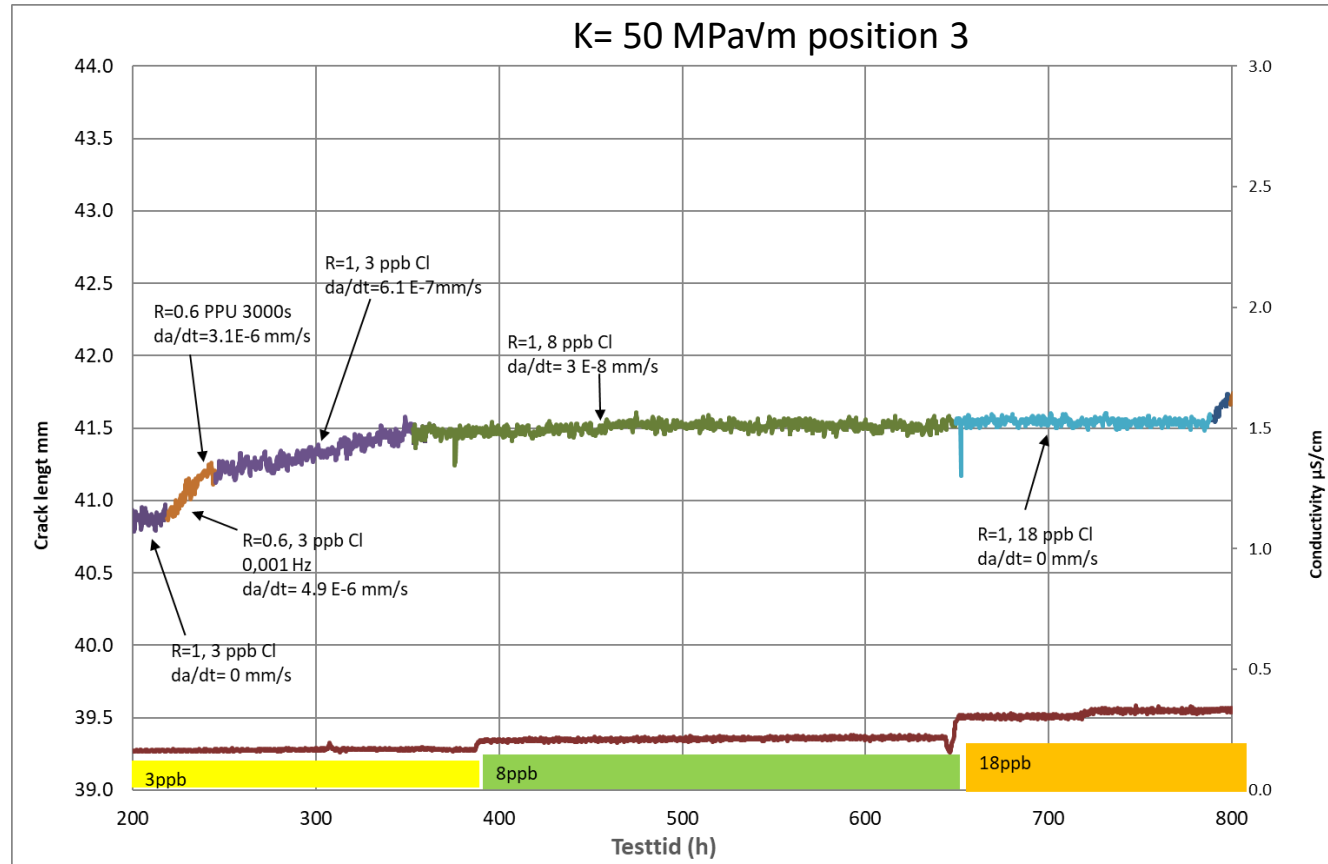
- Konstant K-prover initierade genom dynamisk last
- Identiskt obelastat DCPD-referensprov

Position i autkloav		K [MPaVm]
Nedre lock	1	70
	2	60
	3	50
	4	50*
Övre lock	5	70
	6	60
	7	50
	8	60*

*PPU R=0,7 och 2h hålltid, 120 s avlastningscykel

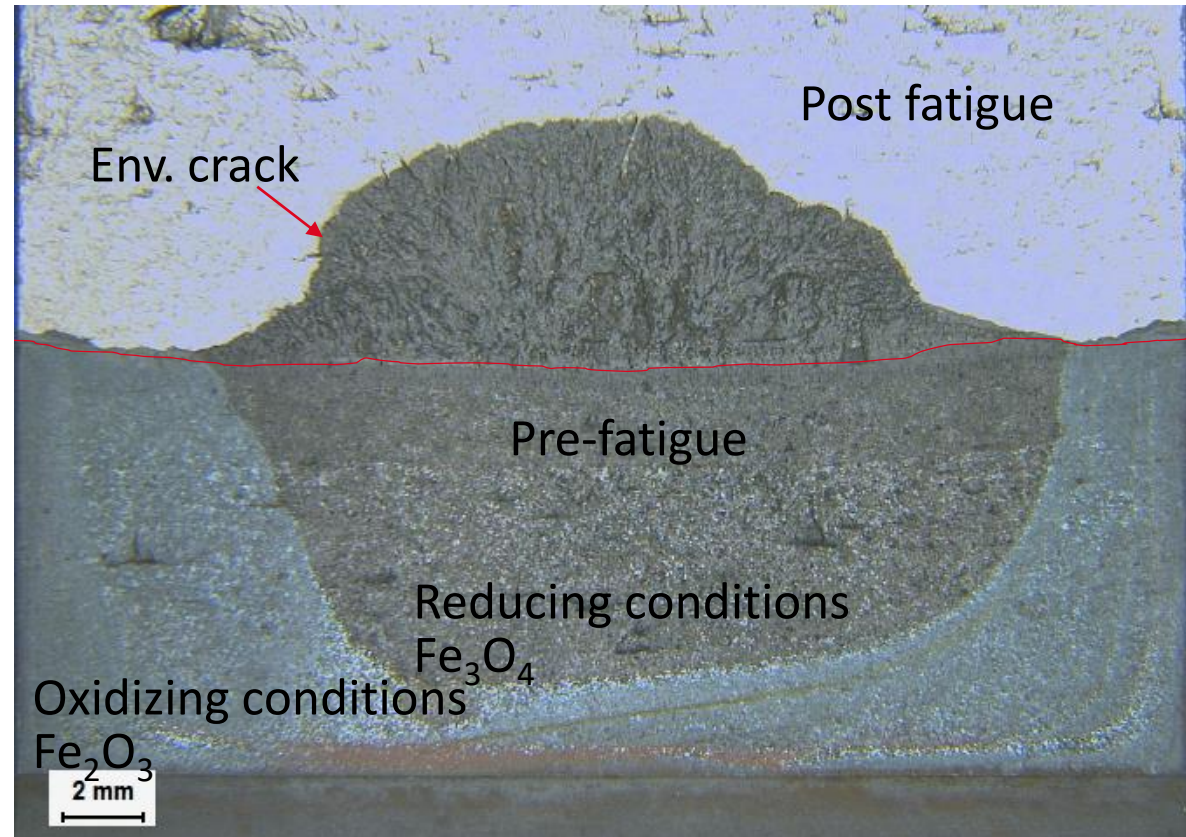
LÅG KLORIDHALT KONSTANT LAST

- Svårt att bibehålla tillväxt
- Ingen inverkan av ökad kloridhalt vid 3 or 8 ppb
- Tillväxt upphör
 - 84 h $K=50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$
 - 118 h $K=70 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$



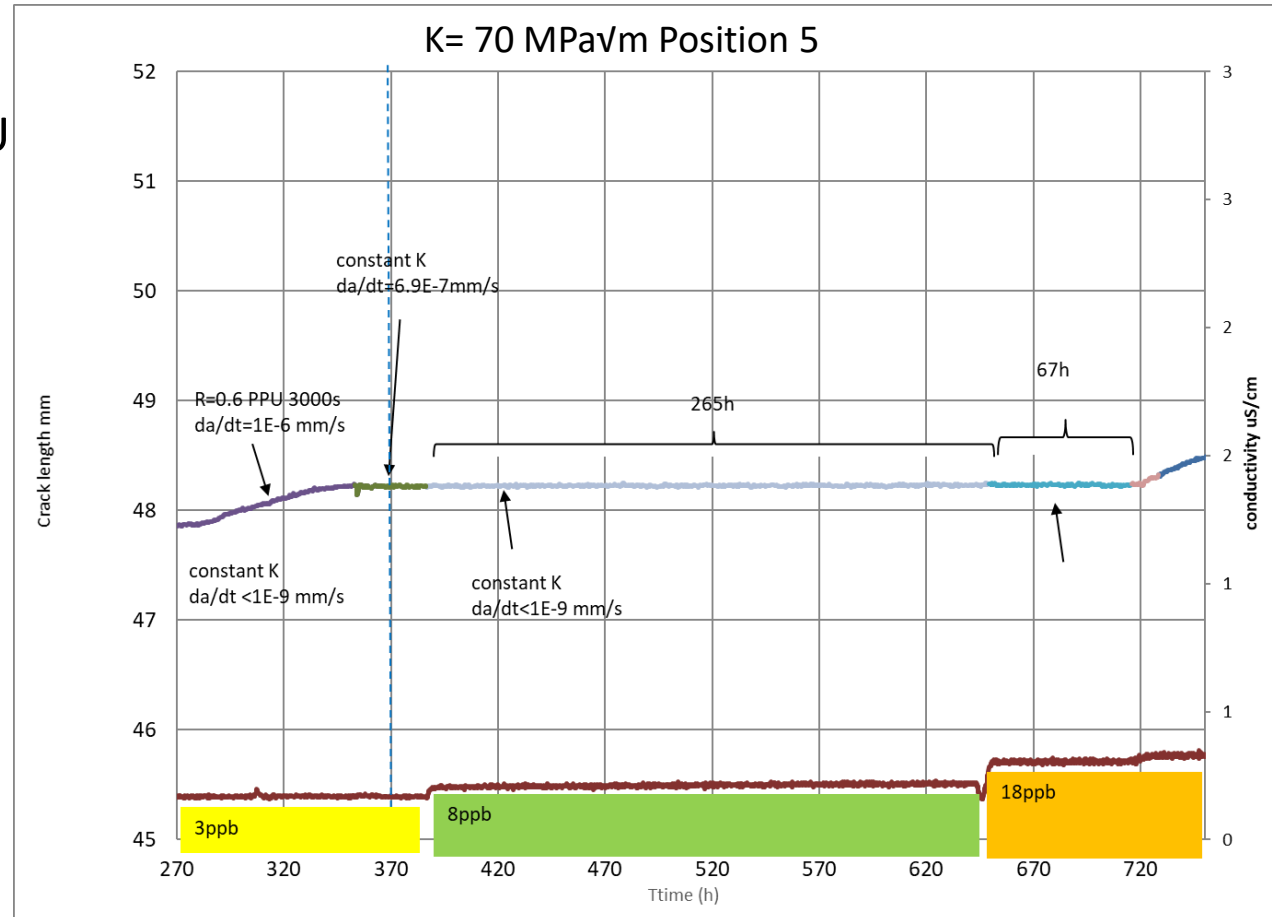
BROTTYTA– POSITION 3, K=50

- CGR korrigerad från fraktografi med medel längs den aktiva spricklängden
- Rapporterat K är medel längs med den aktiva längden
- Medel K=50 genom hela provningen, men på slutet är skillnaden längs sprickfronten 10 MPa√m



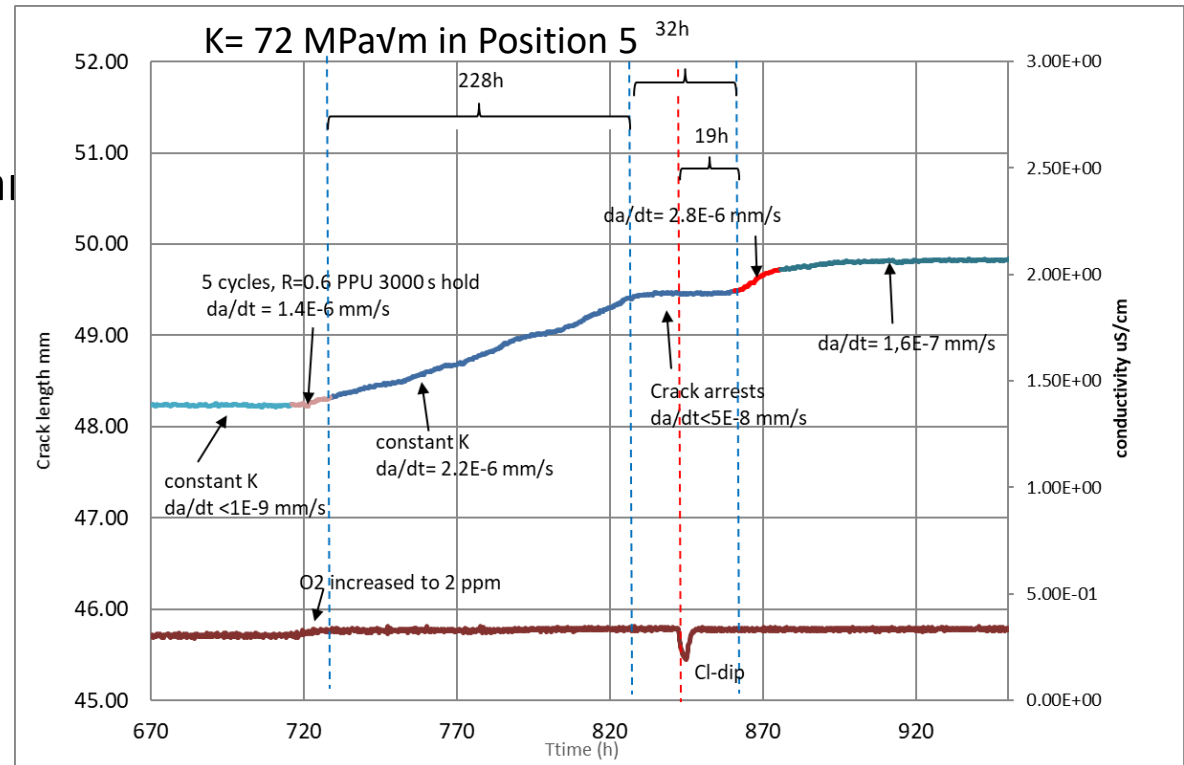
MEDIUM CL-TRANSIENTS CONSTANT

- Minskande spricktillväxthastighet efter 5 cykler PPU vid 3 ppb
- Ingen fortsatt spricktillväxt under 260h vid 8 ppb



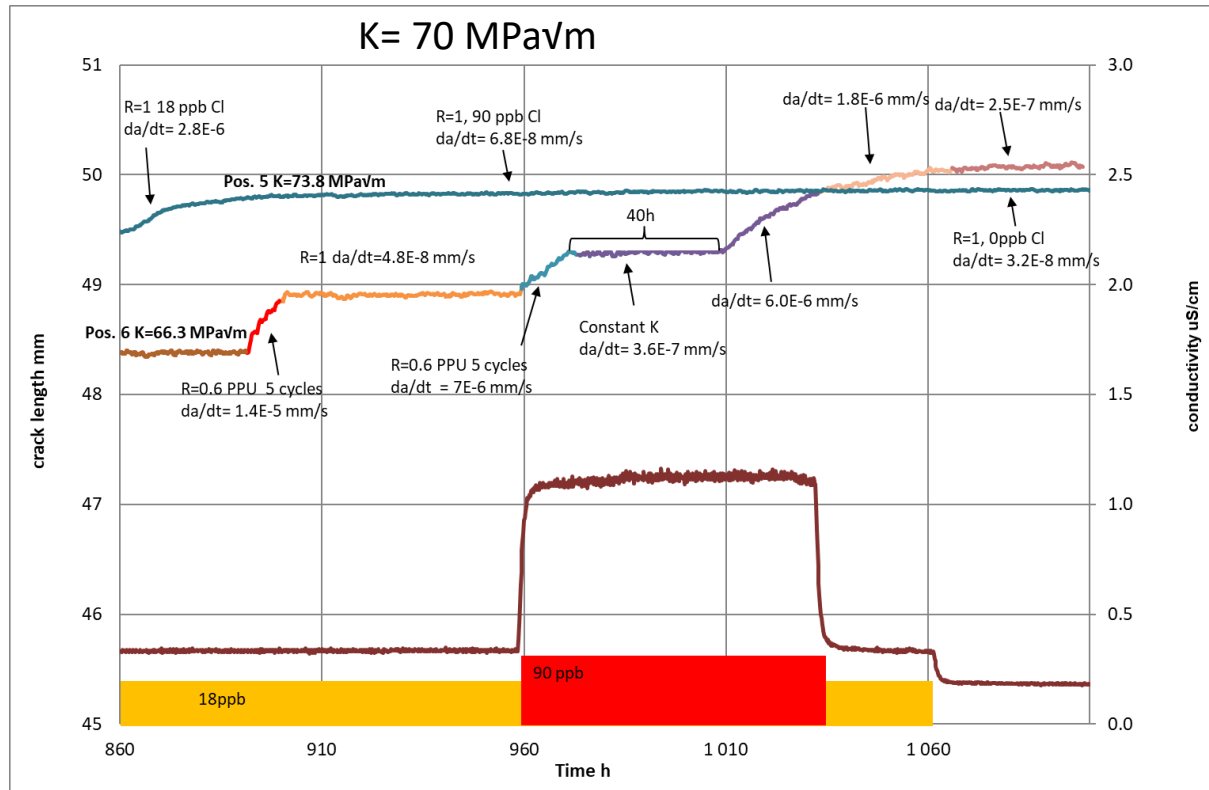
18 PPB CL TRANSIENTER

- Initiering med 5 cykler PPU
- Efter sprickstoppning, spricktillväxt återstartar efter 32h



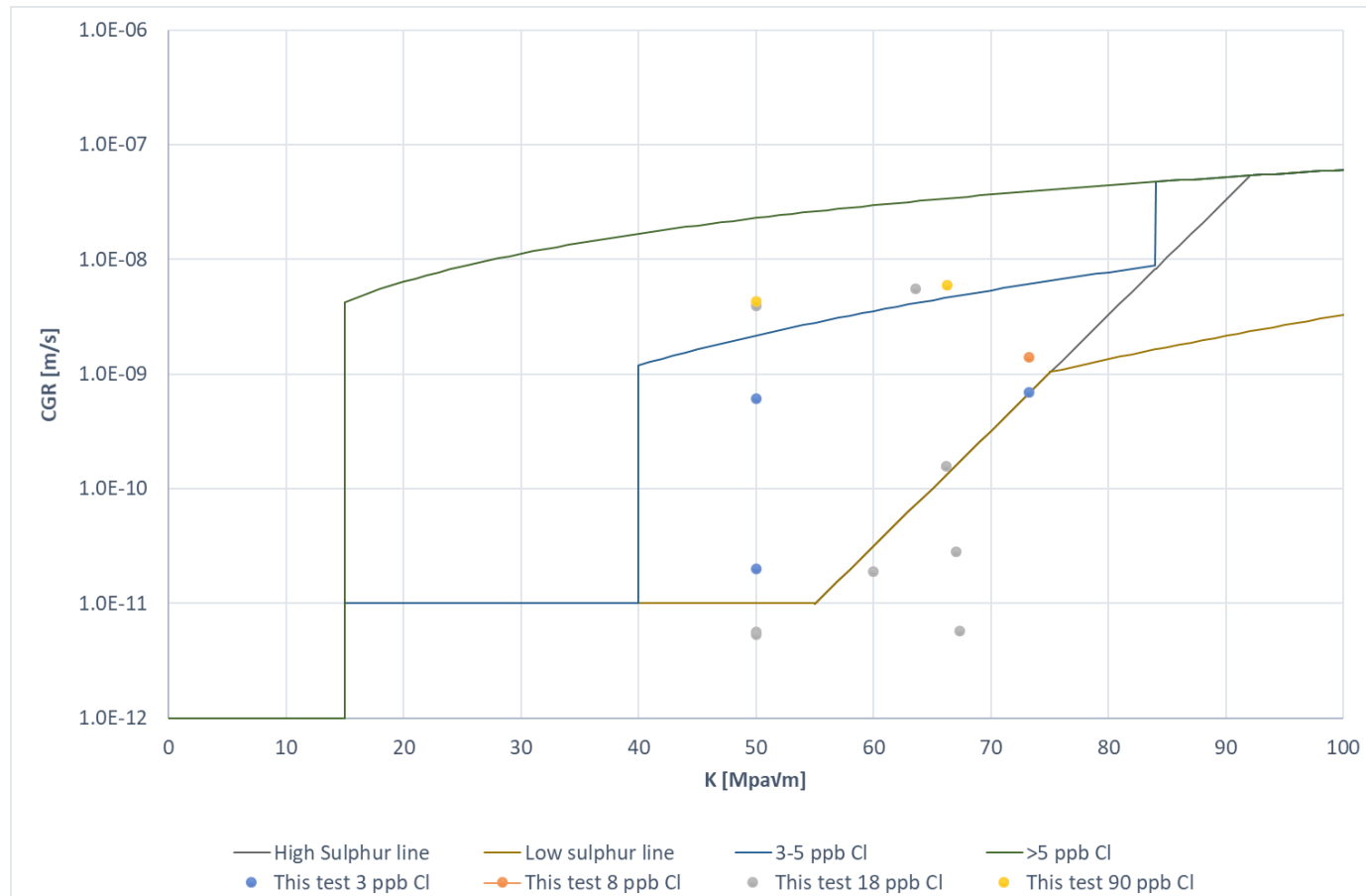
HÖGA CL-TRANSIENTER

- Pos.5
 - Kontinuerligt sprickande prover
 - Ingen reaktion på varierande kloridhalter
- Pos. 6
 - Vid 18 ppb Cl; ingen tillväxt efter PPU
 - Vid 90 ppb; en inkubation period på 40h efter PPU



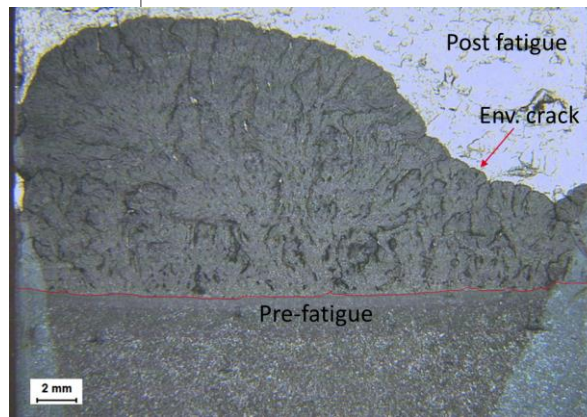
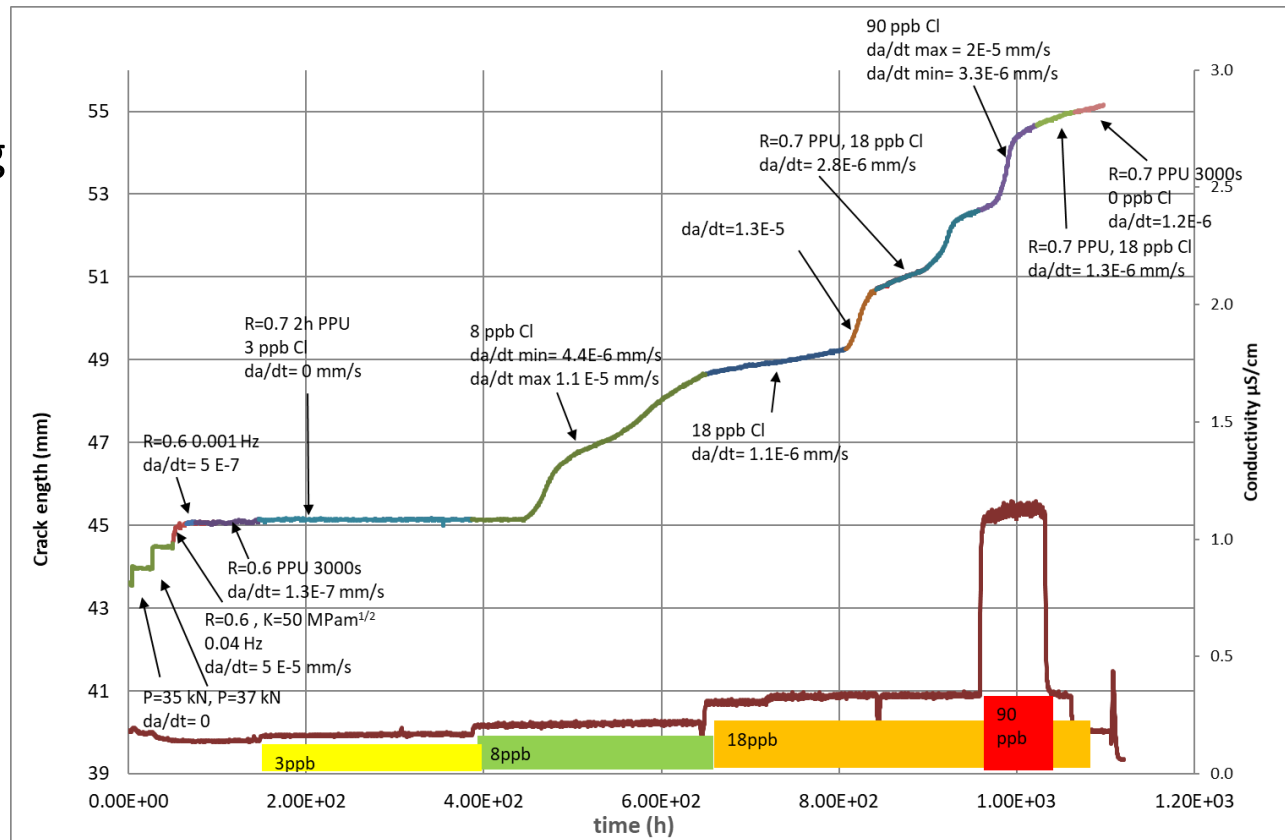
SAMMANFATTNING AV CGR VID KONSTANT K

- Alla datapunkter är under respektive begränsningslinje enl. EPRI BWRVIP-233 rev. 2



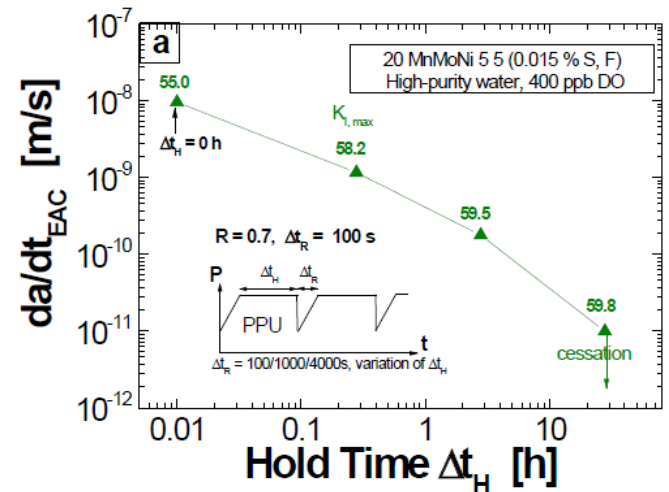
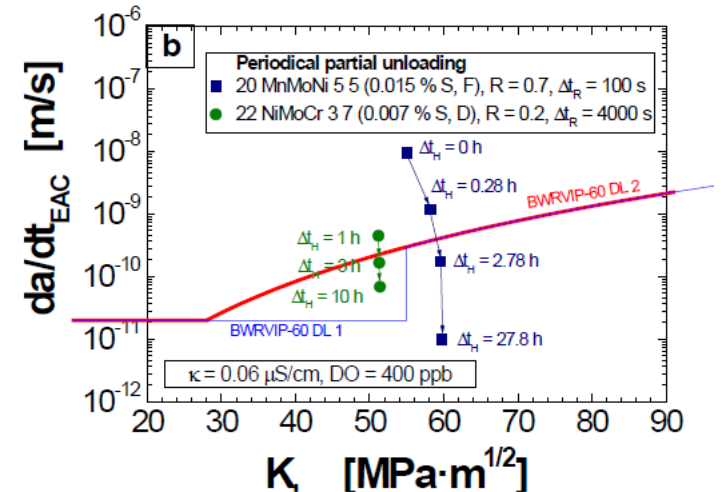
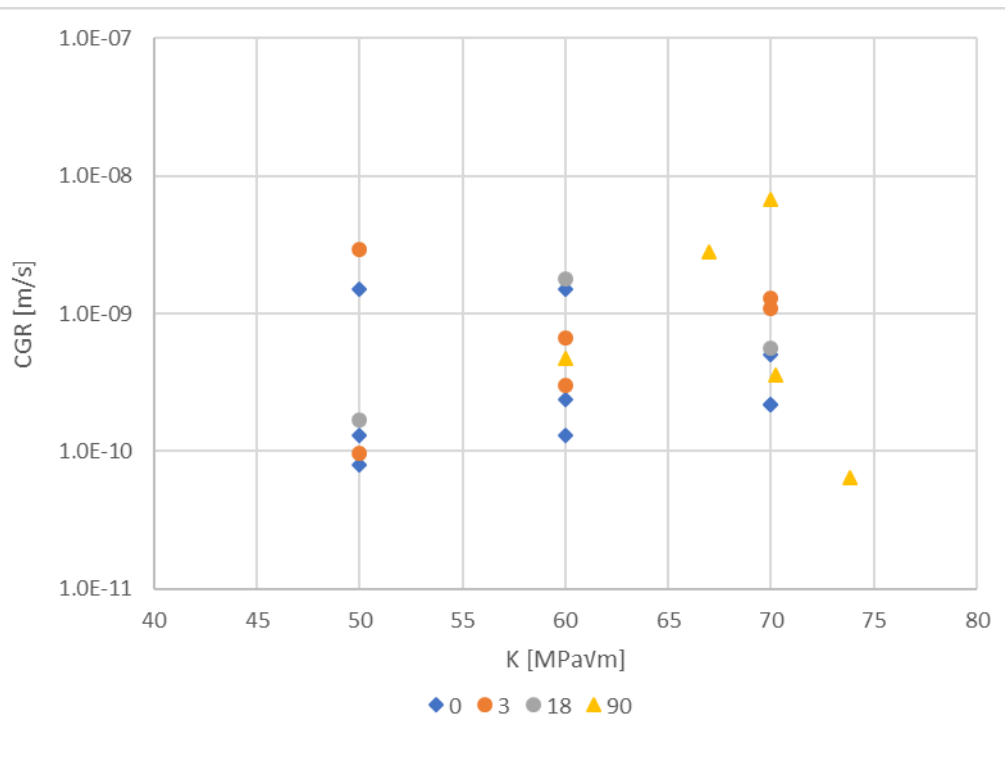
PERIODISK PARTIELL AVLASTNING

- PPU 2h hålltid
- K ökar från 50-69 MPa√m vid provning
- Efter initiering vid 8 ppb, varierande hastigheter
- Tillväxthastighet underskattad av DCPD, ej valid pga. Lång spricklängd



SPRICKTILLVÄXT MED PPU

- Cykeltid i reaktor 4000-8000h
- PPU 120s lastcykel och 3000s hålltid



BWRVIP-60-A

SAMMANFATTNING

- SCC-spricktillväxthastighet vid höga K och kloridtransienter för tryckkärlsplåt med 0.011% S i simulerad NWC-miljö och Cl-transienter
- 8 stycken 1.5 TCT-prover med aktiv belastning i Multi-CT-autoklav vid höga K (50-70 MPa $\sqrt{\text{m}}$)
- För konstant K
 - Spricktillväxten var svår att upprätthålla utan cykling, oberoende av kloridhalt
 - Längsta tillväxtperioden vid konstant K var 228h
 - Alla tillväxthastigheter vid konstant K faller under de nya tillväxtkurvorna för EPRI BWRVIP-233 rev.2
- Spricktillväxthastighet med PPU och hålltider $\geq 3000\text{s}$
 - Inte tillräcklig frekvens för att initiera tillväxt vid korta tider
 - Efter en längre period initierade tillväxt vid 8 ppb Cl
 - Stora variationer i spricktillväxthastigheter och inga signifikanta effekter av kloridhalter

TACK

Tack till SSM som finansierat projektet och Svenska Materialgruppen som bidragit med materialet

Personliga tack till:

Peter Gillén (Studsvik)

Jari Syrjänen (Studsvik)

Johan Stjärnsäter (Studsvik)

Peter Ekström (SSM)

Björn Forssgren (Ringhals AB)



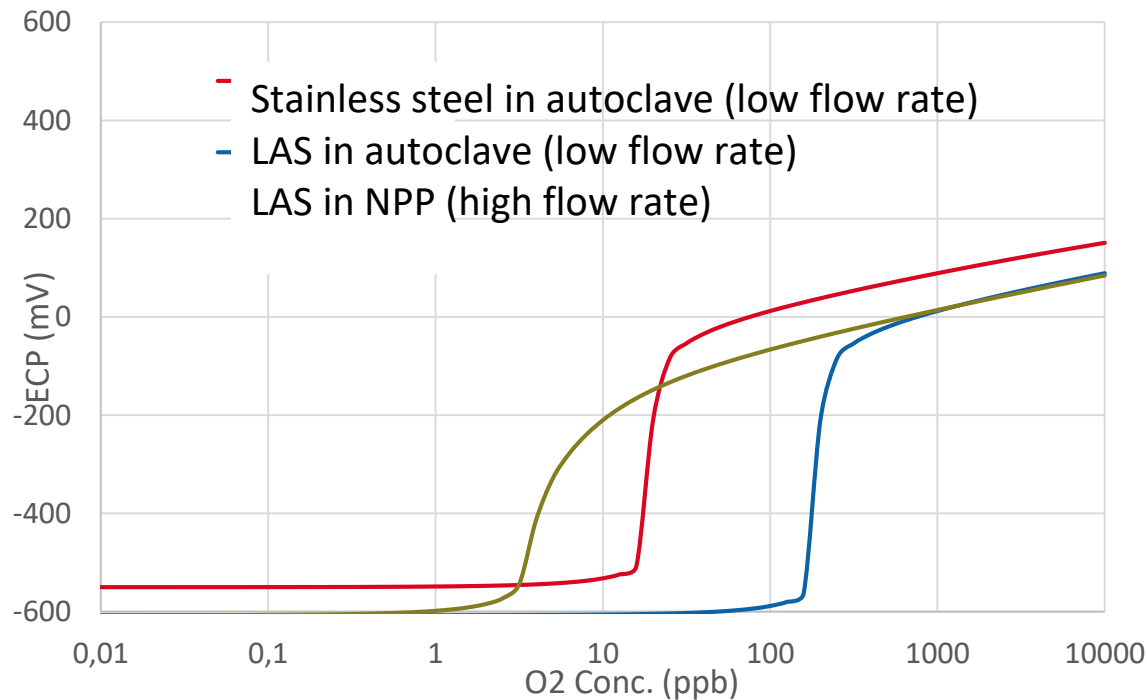
Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority



EFFECT OF FLOW RATE ON ECP FOR LAS

ECP vs. Bulk O₂ Concentration



Higher I_{corr} for LAS compared to SS

POSITION 4 – PPU R=0.7

- K-gradient 50-69 MPa√m

