Riskreduktion vid inspektion av rör

Jens Gunnars, Inspecta TECH

Föreningen för Oförstörande Provning
FOP:s vårkonferens, Stockholm, 21-23 april 2013

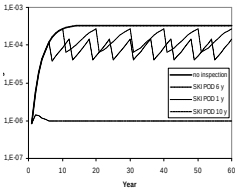
Innehåll

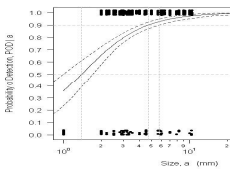
1. **Bakgrund**
   - Projektet ”Riskreduktion vid inspektion av rör”
   - Varför utvärdera riskreduktion?
2. **Hur utvärdera riskreduktionen från provning av rör?**
   - Probabilistisk brottmekanisk modellering
   - Indata - inklusive bestämning av POD-kurvor
3. **Resultat**
4. **Sammanfattning**

Projekt ”Riskreduktion vid inspektion av rör”

Huvudmålen med projektet är:

- att för ett antal typsituationer för **svetsar i rör analysera riskreduktionen vid provning** med olika detekteringsförmåga (Probability Of Detection) och inspektionsintervall
- att **bestämma POD-kurvor** från den existerande kvalificeringsdatan för UT01 med hjälp av en **ny metodik** som utvecklats inom ENIQ
- att ge **kunskapsöverföring** om riskinformerad inspektion (RI-ISI) till en större grupp vid de svenska anläggningarna





Projekt ”Riskreduktion vid inspektion av rör”

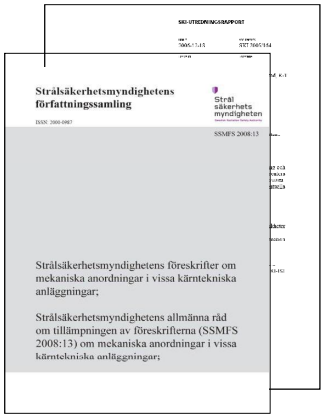
- Projektet drivs av de svenska kärnkraftverken; Ringhals, Forsmark och OKG
- Projektet utförs av Inspecta, SQC, Statistical Engineering och JRC
- Teknisk styrgrupp från kraftbolagen

VATTENFALL RINGHALS AB
okg – ett företag i E.ON koncernen
VATTENFALL FORSMARKS KRAFTGRUPP
Inspecta
SQC SWEDISH QUALIFICATION CENTRE
EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL Joint Research Centre
Charles Annis, P.E. Statistical Engineering

SSM:s föreskrifter med kravbild för återkommande inspektion Risk-Informed In-Service Inspection (RI-ISI)

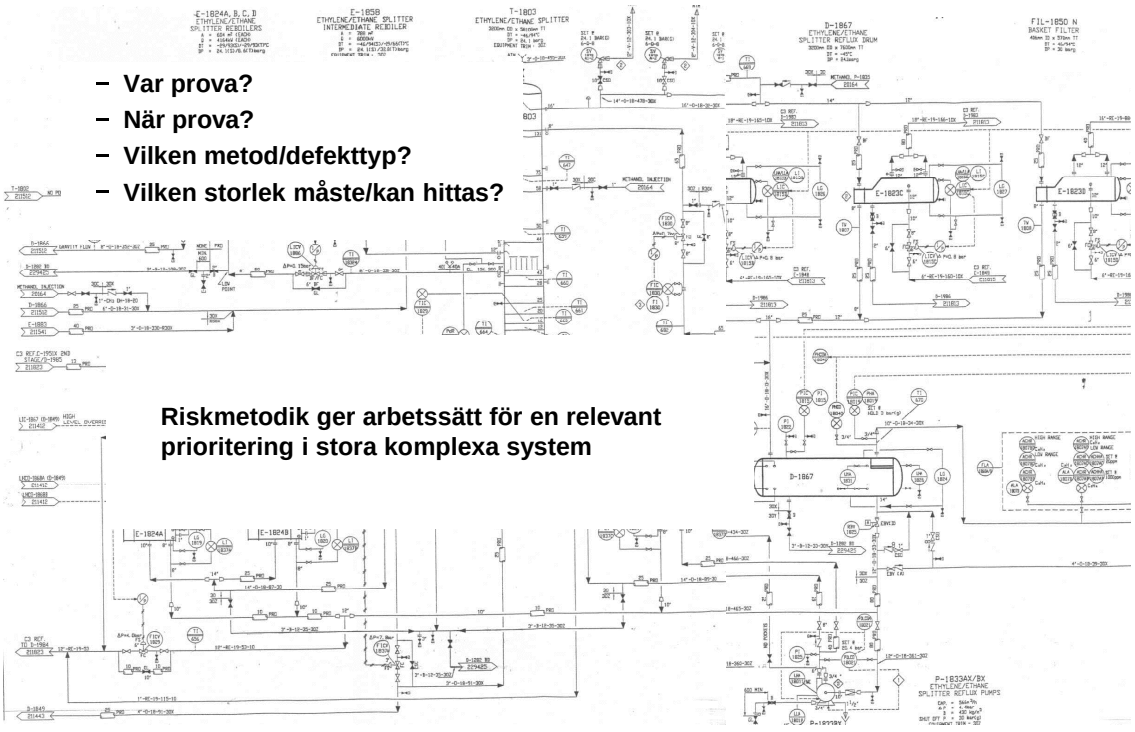
SSMs krav för återkommande provning av mekaniska anordningar i kärntekniska anläggningar, **SMFS 2008:13**

- Alla anordningarna ska klassas till grupp A, B eller C **utifrån deras relativa risknivå** avseende härdskada och utsläpp.
- anordningar i grupp A och B ska genomgå **återkommande kontroll i den omfattning och med de intervall som är nödvändiga med hänsyn till bedömd relativ risk**.



- SSMs **preliminära riktlinjer** för RI-ISI i rörsystem, (SKI-Utredningsrapport, **SKI 2005/164**
  - Grundkrav att **totala** risknivån för alla system ska minska eller vara **riskneutralt** för ett nytt provningsprogram
  - **System som bidrar >10% till totala** risknivån ska ytterligare **provning tillföra**s tills man når riskneutralitet för det systemet
  - En **liten riskökning accepteras** i system som bidrar <10% till totala risknivån, **om** ökningen är <1% av totala risken.
  - Riskneutralitet bygger på antagandet att det tidigare provningsprogrammet var bra, vilket medför förslag till **ytterligare krav**, bl.a. en **riskreduktionsfaktor 5 – 10** för den totala summerade risknivån

Kontrollprogram för komponenterna i en anläggning



- **Var prova?**
- **När prova?**
- **Vilken metod/defekttyp?**
- **Vilken storlek måste/kan hittas?**

Riskmetodik ger arbetssätt för en relevant prioritering i stora komplexa system

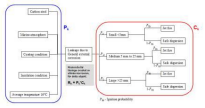
Riskanalys – grundläggande begrepp och principer

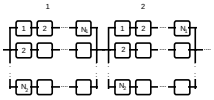
Risknivå

För att värdera en identifierad händelse k, inför vi måttet risknivå R_k,

$$R_k = P_k * C_k$$

där P_k är sannolikheten för att händelsen k inträffar (skada i aktuell rördel), och C_k är konsekvensen givet att händelsen k har inträffar. (P_k bestäms i detta projekt med probabilistisk brottmekanik)





Relativ risknivå

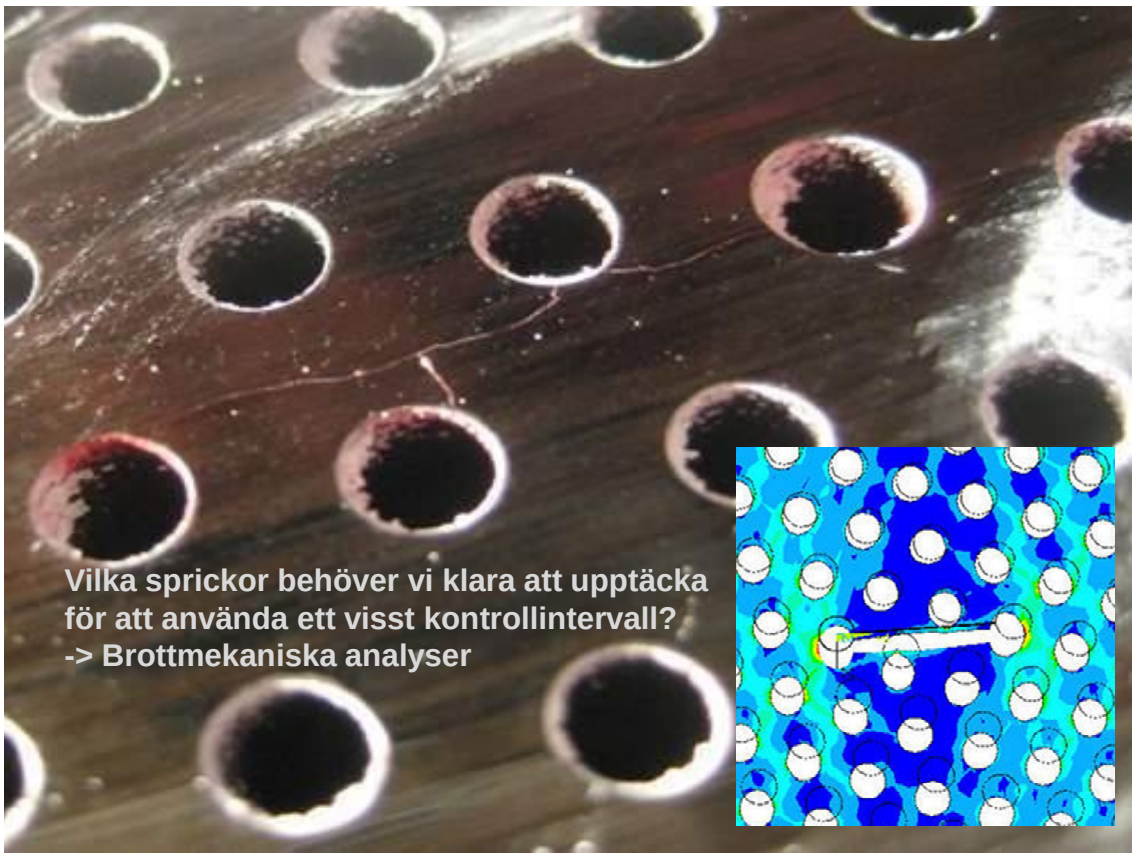
Resultaten från en riskanalys ger en mängd olika händelser som värderas mot varandra med syfte att ta fram en prioritering. I detta sammanhang används ofta en relativ risknivå definierad som

$$R_k / R_{tot}$$

där R_{tot} är den totala summerade risken för det betraktade systemet(en).

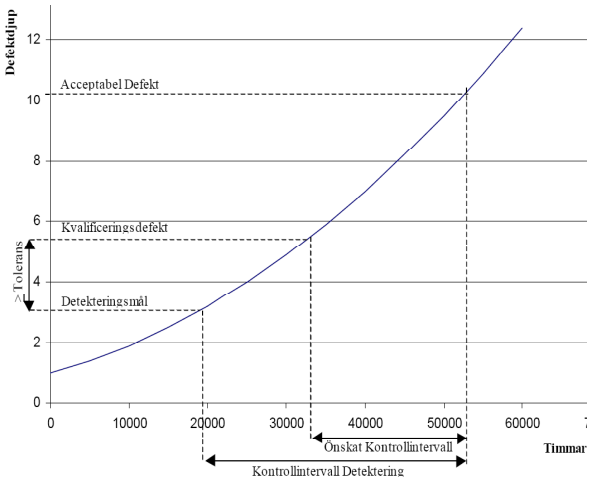
$$P(M > 0 \mid H > 0) = \frac{P(M > 0 \cap H > 0)}{P(H > 0)}$$

- Relativ risknivå används eftersom det är svårt att bestämma absoluta risknivåer exakt, och modeller klarar bättre att beskriva **inbördes rangordningen** mellan komponenter som påverkas av likartade förhållanden.
- Vid förändring av provningsprogrammet för ett rörsystem finns det krav på att utvärdera att risknivån för systemet är likvärdig (**Delta risk analys**) En **riskreduktionsfaktor RRF** användas som mått för att beskriva vilken betydelse en förändring av risknivån för en komponent har i ett system

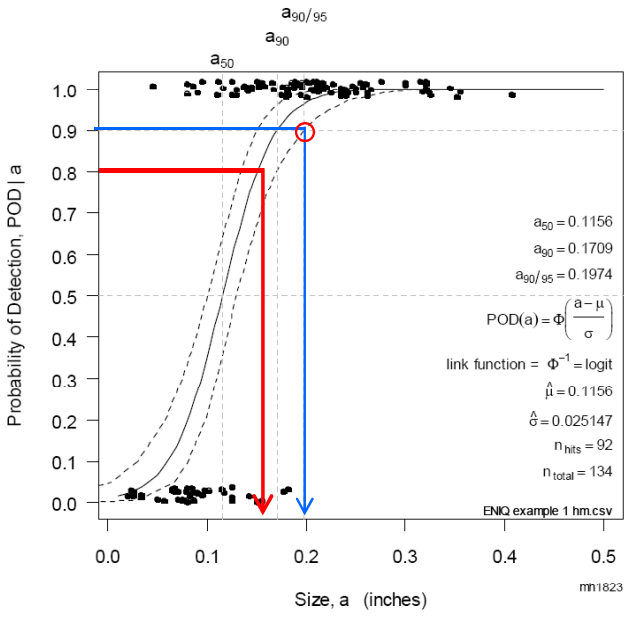


Detekteringsmål och kontrollintervall

- **Detekteringsmålet** är den defektstorlek som måste kunna hittas och storlekbestämmas med provningssystemet.
- I analysen av **kontrollintervall** antar man att det i komponenten finns en defekt med storlek precis under detekteringsmålet (postulerade defekter).
- För en **rapporterad defekt** vid provningen, d.v.s. en defekt större än detekteringsmålet, ska alltid en **mättolerans** läggas till när intervallet bestäms, kallas kvalificeringsdefekt, se figuren.
- **Brottmekanisk analys** kan användas för att bestämma detekteringsmål – **här** analyserar vi **probabilistiskt** för att ta hänsyn till spridning/osäkerheter



POD-kurva och detekteringsmål



POD = Probability Of Detection = sannolikhet för detektering, som funktion av defektstorlek

Exempel på POD-kurva från "hit/miss"-data.

Ny metod för statistisk analys av kvalificeringsdata, ENIQ Report No. 41 och No. 47.

Punkten $a_{90/95}$ innebär 90% sannolikhet för detektering med 95% konfidensnivå. Behöver N = 60 - 90 samples.

Punkten $a_{90/95}$ på POD-kurvan motsvarar **detekteringsmålet** . Ibland används a_{80}

Probabilistisk brottmekanisk modellering

Probabilistic analyses to estimate risk reduction from different ISI

It is **necessary to use quantitative Structural Reliability Models (SRM) in order to quantify the risk reduction** from different inspection (POD-curves and intervals).

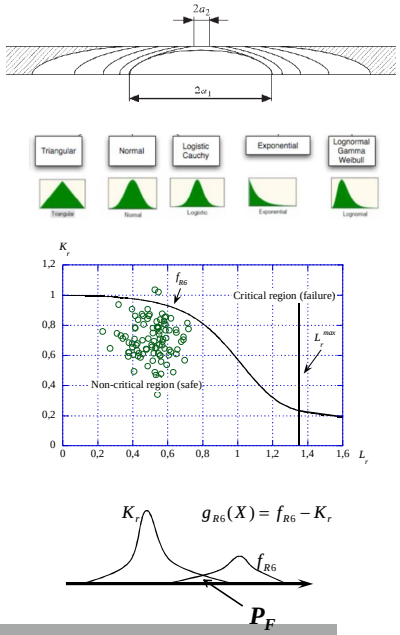
Parameters influencing the risk reduction from inspection of an object are:

1. Damage tolerance of the component
   - component **material, geometry, defect position, loadings, residual stress, …**
2. Damage growth for the component
   - relevant **damage mechanisms, environment and normal operation loads**
3. **Inspection interval**
   - Typically 10, 6, 3, or 1 years
4. Reliability of the inspection system
   - quantified by **POD-curve** based on NDT test data

The risk levels are calculateby use of **best-estimate data** for **all parameters** in the SRM, including for the POD-curve (not worst-case). Complemented with **sensitivity studies**.

Analysmodeller för att bestämma risknivå och riskreduktion NURBIT och ProSACC

- För analyserna används Inspectas modell och program **NURBIT**
  - **Avancerad brottmekanisk modell** som hanterar övergången från ytsprickor till läckande genomgående sprickor samt level B laster
  - **Enkel probabilistisk modell**
- Även den probabilistiska modulen i **ProSACC** används. I ProSACC finns möjligheter att använda både Monte-Carlo simulering och FORM-metoder
- För **verifieringsfall** av några valda fall används ett av JRC utvecklat program, med enkel brottmekanisk modell som enbart hanterar ytsprickor, men mer **avancerad probabilistisk modell**



Indata

Summary of selected piping cases

- Three **stainless steel** pipe **geometries** are studied:

PipeID	Outer diameter	Wall thickness	Material
O313	114 mm	**8,0 mm**	SS
O312	266 mm	**15,5 mm**	SS
RSL	355 mm	**35,7 mm**	SS

- **Stress corrosion cracking (SCC)** is possible (statistically based occurrence rate)
  - Assumed initial defect size given by depth of 1 mm and an **exponential distribution for the crack length** (mean 11% of circumference)
- Loads from **normal operation** for crack growth analysis, and from **upset load cases (Level B)** for evaluation of leak and pipe break probabilities. **Different load levels (L, M, H) are defined and analyzed**.
- Realistic **best-estimate weld residual stresses** are used. (Possibly within the project a sensitivity analysis will be performed with respect to WRS, especially for case 'RSL')
- Analysis for **different POD-curves** (old and new UT-01) and for different inspection **intervals**.

Determination of POD-curves from existing qualification data

Inspection data from Swedish UT qualification (UT01)

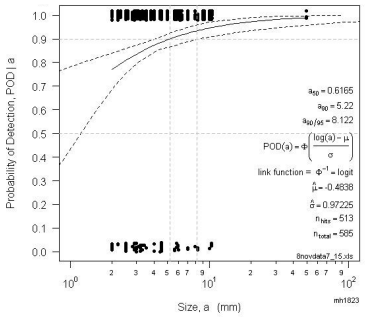
- Operators perform qualification, and requalification every 5th year.
- An operator may pass if >80% of the cracks are detected, and positive false calls are <20%, and other requirements.
- Summary of the available inspection data:
  - 161 unique cracks
  - Range of crack depths: 2 - 26 mm
  - Pipes and plates, thickness: 4 - 35 mm
  - 48 unique operators
  - In total 1761 inspection records
  - Effective number of inspections per crack: 11.3

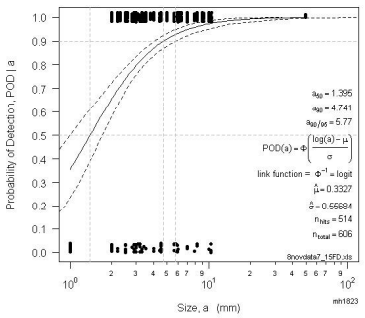
POD-curve estimation – according to ENIQ no. 41

- POD-curves are determined from hit/miss-data using the method in the **ENIQ report No 41.**
- **The <u>available set of data</u> from qualification is <u>not well balanced</u>.** The data is totally dominated by hit trails, and data for small defects is lacking.
  -> convergence problems & large confidence bounds.

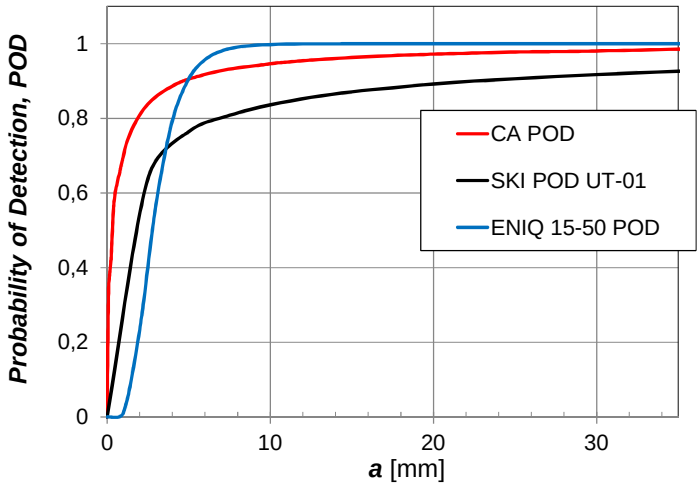
Possible remedies:

- Introducing **<u>assumed data points</u> for small crack sizes**
  - *Assumptions could be support by results from verified simulation models for synthetic POD curves*
- Perform **a <u>Bayesian update</u> based on NDT expert opinions**
- Produce **<u>test blocks</u> with smaller cracks** and perform a new experiment designed with a **'well balanced**' selection of trails (90).





New POD-curves from the existing qualification data



"ENIQ 15-50 POD" = curve by use of ENIQ procedure

"SKI POD" = curve from older method

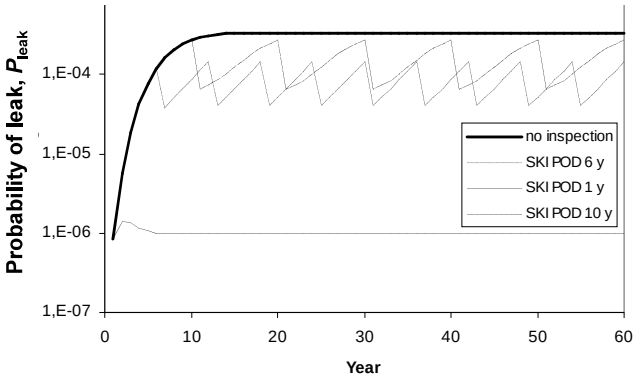
"CA POD" = resulting POD-curve including a Bayseian update based on NDT experts opinion.

Resultat

Exempel – effekt av inspektionsintervall

Förändring i läckagesannolikhet med tiden för en svets som provas med ett UT men med olika intervall: 10 år, 6 år och 1 år.

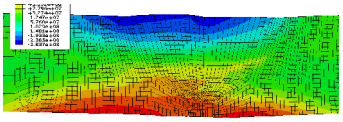
Analysen visar att om läckagesannolikheten för detta rör ständigt ska hållas lägre än 10^{-4} så behövs det ett 6-års intervall, men om $<10^{-6}$ skulle behövas så krävs det 1-års intervall.



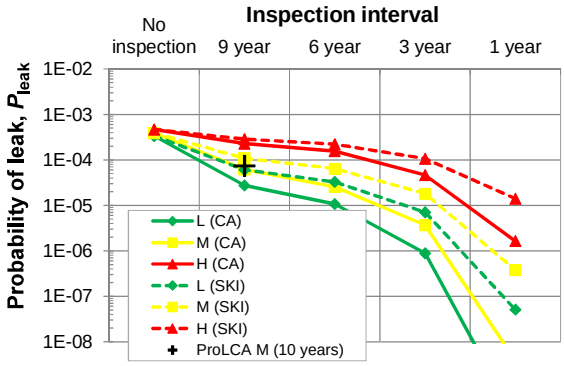
Obs! Resultatet gäller inte allmänt, utan gäller för ett rör med denna specifika situation (BWR1) med geometri, belastningar, restspänningar, miljö, provningsmetod, etc

Probability for leakage – thin stainless steel pipe

- The case is: a **weld in a thin 8 mm stainless steel pipe** (OKG 313).
- Best estimate residual stress field:



- Results for **L, M, H expansion stress levels (10, 30, 100 MPa).**
- Results for UT01 new POD-curve (**CA**) and for the old POD-curve (**SKI**).
- Results as a function of inspection **interval**.



- **Validation** was made for this case for the Medium load level and 10 years interval, by comparing to the result for this case from a full detailed probabilistic model. The black cross shows the result from the verification analysis and the agreement is very good.

Correlation between P_{leak} and RRF_{leak}

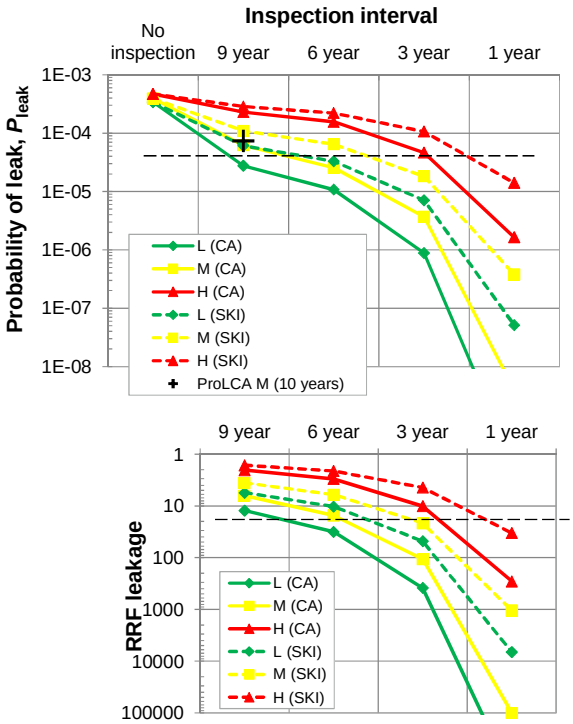
Risk reduction factor:

RRF = P_{wo}/P_w

where P_{wo} is leak probability without inspection and P_w, is probability with the inspection.

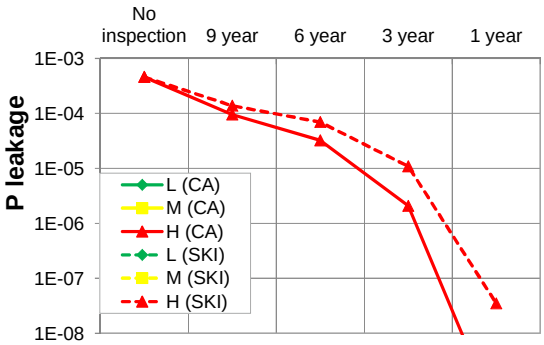
Relative improvement compared to not inspecting.

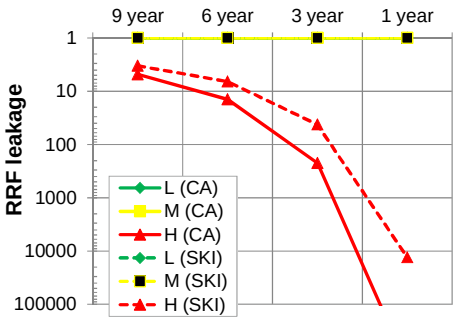
Probability of leak and RRF for the same case, **illustrating how RRF_{leak} reflects P_{leak}.**



Probability for leakage & RRF – Thick stainless steel pipe

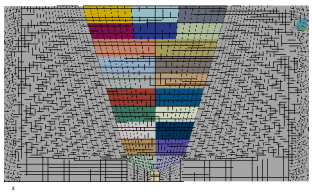
- The case is: a thick weld in 35.7 mm stainless steel pipe (RSL).
- Best estimate residual stress field
- Leak probability **result only for High expansion stress levels** (100 MPa), because of high compressive residual stress.
- Results for UT01 new POD-curve (CA) and for the old POD-curve (SKI).
- Results as a function of inspection interval.
- *For High loading RRF_{leak}* reflects P_{leak}

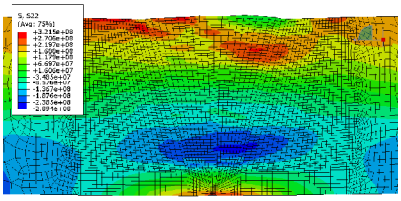


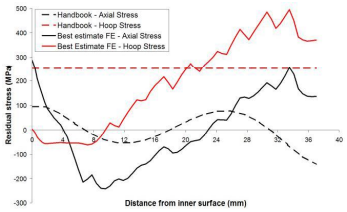


Probability for leakage & RRF – Thick stainless steel pipe

- The case of a thick weld in 35.7 mm stainless steel pipe (RSL)
- The **best estimate residual stress field** is shown in the figures.
- **The axial stress field has a zone of compressive stress starting 5 mm below the inner surface**
- Because of this compressive zone stress corrosion cracks are predicted to arrest, and the leak probability is extremely low.
- Growth of circumferential cracks to leak is only possible for the High expansion stress level case (100 MPa).
- A weld repair at inside of the pipe would alter the stress state and be less beneficial.







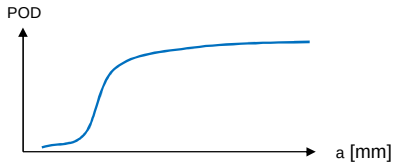
Sensitivity studies – with respect to NDT reliability:

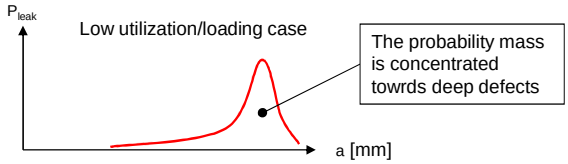
(i) study of POD-curve changes in the small defect region

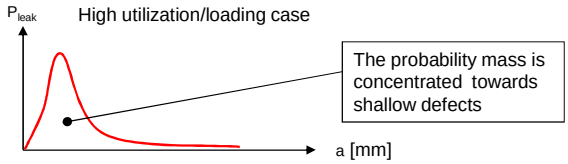
(ii) study of POD-curve changes in the large defect region

Inverkan av POD-kurvan för olika situationer

Exempel med en lågt respektive högt påkänd svets:

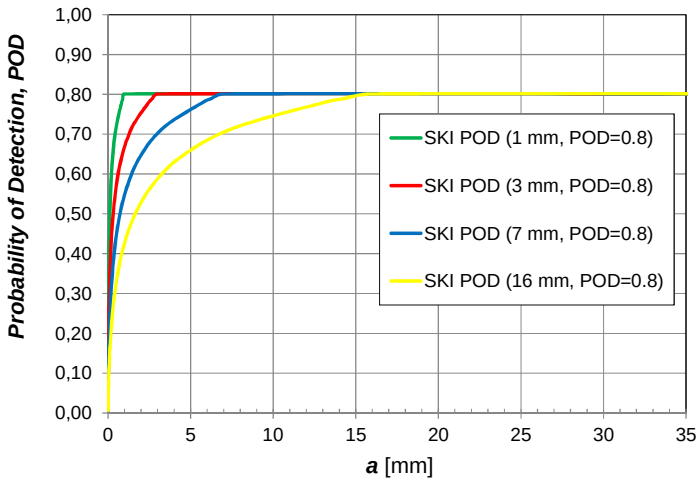






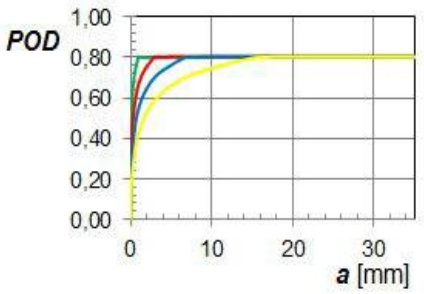
Modified POD-curves to be used in small defect sensitivity study

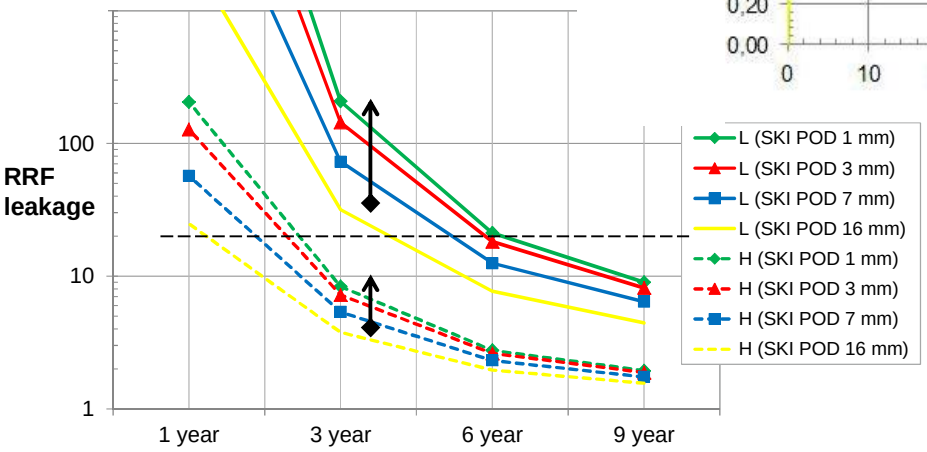
Definition of modified POD-curves to be used in sensitivity study with respect to the NDT system performance for small defects. Four modified SKI-POD curves with 0.8 detection targets 1, 3, 7, and 16 mm, and same upper shelf of POD= 0.8.



RRF for different POD-curves and inspection intervals
Small defect detection sensitivity study

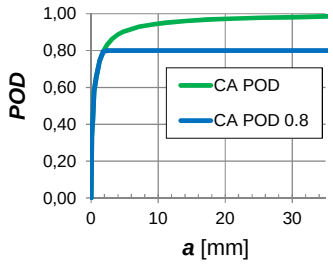
Risk reduction factor RRF for leakage as a function of inspection interval for a weld in 8 mm thin SS piping (OKG 313). Sensitivity study with POD-curves modified to four different 0.8 detection target sizes. Results for expansion stress level Low and High (10 and 100 MPa).

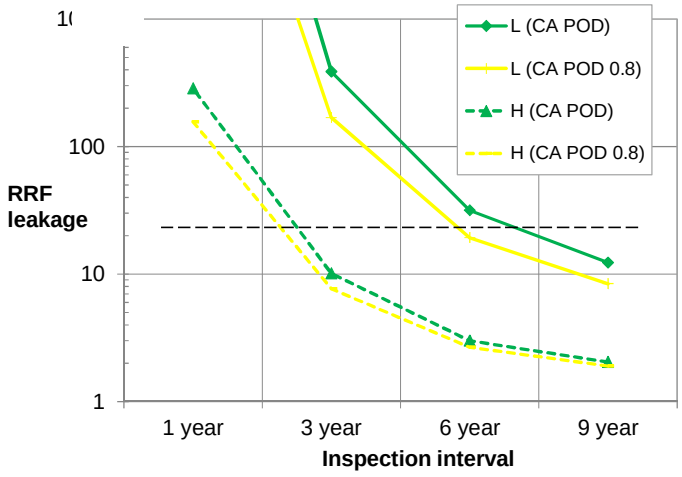




RRF for different POD-curves and inspection intervals
Sensitivity study for detection reliability for large defects

RRF leakage for a thin SS pipe (OKG 313). Results for Low and High expansion stress levels. Results for two POD-curves: the new UT01 curve (CA) and one with an upper shelf at POD= 0.8 (CA POD 0.8).





Slutsatser och sammanfattning

- **POD-kurvor används för att beskriva detekteringsförmågan för ett provningssystem**.
  - Uppfyllande av detekterings mål ger information om enbart en punkt
- **Ett väl genomarbetat arbetssätt finns nu för att bestämma POD-kurvor**
  - Jämfört med POD-kurvor som tidigare har tagits fram så ger ENIQs metod betydligt högre POD, d.vs. tidigare har nyttan med provning underskattats.
  - Arbetet med att bestämma ny POD-kurva utifrån kvalificeringsdata visar att det är viktigt med små defekter i test blocken, för att se var man tappar detekteringen
- **Den brottmekaniska modellen i NURBIT är mycket bra, men den probabilistiska utvärderingsmetoden som används är förenklad**.
  - Ytterligare utveckling kan behövas för att utvärdera riskreduktionen för fallen när spridningen i flera variabler blir kontrollerande, och inte en dominerar.
- **Analysresultaten visar värdet av att förbättra OFP-system för att hitta små defekter, och därmed reducera risknivåerna.**
  - Visar även värdet av en förbättrad metodik för att bestämma POD-kurvor.
- **Analyserna visar att ett kortare intervall i allmänhet är ett effektivt sätta att sänka läckagesannolikheten.**

Tack!

Frågor?