



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Jonathan Mullins

Forskning

2010:47

Utveckling av programpaket för
analys av termisk utmattning

Titel: Utveckling av programpaket för analys av termisk utmattning.
Rapportnummer: 2010:47
Författare: Jonathan Mullins, Inspecta Technology AB, Sweden
Datum: December 2010

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM. De slutsatser och synpunkter som presenteras i rapporten är författarens/författarnas och överensstämmer inte nödvändigtvis med SSM:s.

Bakgrund

I ett tidigare NESC-projekt (Network for Evaluating Structural Components – Thermal Fatigue) togs fram en Europeisk procedur för hantering av termisk utmattning. Den tidigare myndigheten Statens kärnkraftinspektion (SKI) var en av projektets finansörer. Proceduren innehåller bl.a. utvärdering av en modell för analys av högcykelutmattning vid turbulent termisk blandning. Modellen, som är baserad på en skadedatabas av tidigare observerade termiska utmattningsfall, används för att prediktera tiden till sprickinitiering och för att ta fram sållningskriterier för temperaturskillnader i blandare. Proceduren tillhandahåller dock inga färdiga instruktioner för problemlösningar på grund av ämnets komplexitet och omfattning.

Syfte

Syftet med projektet var att ta fram ett programpaket för analys av termisk utmattning baserat på den metod som beskrivs i NESC-TF:s procedur "Development of a European Procedure for Assessment of High Cycle Thermal Fatigue in Light Water Reactors, January 2007".

Resultat

Det utvecklade programmet kan framförallt användas för att lösa problem med turbulent blandning. Programmet utgör ett förenklat sätt att analysera termisk utmattning och i sin nuvarande form kan inte fånga upp 3-dimensionella effekter som kan vara avgörande för sprickpropagering. Programmet kan med fördel användas som verktyg för känslighetsstudier.

Effekter på SSM:s tillsynsarbete

Programmet kommer att vara till nytta vid SSM:s säkerhetsvärderingar av mekaniska komponenter i svenska kärnkraftsanläggningar.

Projektinformation

SSM:s projektledare: Kostas Xanthopoulos.

Diarienummer: SSM 2008/185.

Aktivitetsnummer: 2037028-05.

Projektorganisation: Arbetet har utförts av Inspecta Technology AB.

Projektledare var Magnus Dahlberg.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	2
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte	2
2	METOD	3
2.1	Överblick	3
2.2	Geometri och termisk belastning.....	4
2.3	Utmattningsegenskaper	5
2.4	Termiska och mekaniska materialegenskaper	8
2.5	Uppskattning av tid till sprickinitiering.....	8
2.6	Tolkning av resultaten för T-rör förband – 80% regeln	9
3	ANALYS MED T-UTM.....	10
3.1	Analysfönster.....	10
3.1.1	Specifiering analysfiler, köra en analys	10
3.1.2	Tillgång till andra delar av programmet	10
3.2	Indatafönster	11
3.3	Resultatfönster.....	12
3.3.1	Plott av tid till sprickinitiering vs nominell temperaturskillnad	13
3.3.2	Plott av belastningsfrekvens vs nominell temperaturskillnad.....	14
4	TILLÄMPNINGSEXEMPEL	15
4.1	Inverkan av belastningsfrekvensen.....	15
5	DISKUSSION.....	18
6	REFERENSER	19
7	REVISIONSFÖRTECKNING	20

INLEDNING

1.1 Bakgrund

Termisk utmattning är en känd skademekanism i kärnkraftsindustrin som traditionellt har observerats vid blandning av vätskor av olika temperatur, till exempel nära ett T-rör eller vid läckage av en ventil. Flera internationella forsknings- och utvecklingsprojekt har utförts med syftet att bättre kvantifiera processen, samt att utveckla metoder för att genomföra bedömningar av termisk utmattning.

Problemet har fått utökad intresse i Sverige på grund av termiska utmattnings-skador som nyligen har upptäckts i styrestavar i två svenska kärnkraftverk.

Med finansiering av SSM och Ringhals AB, deltog Inspecta 2007 i projektet NESC-TF (Network for Evaluation of Structural Components – Thermal Fatigue) [1]. Ett huvudsyfte var utveckling av en procedur för utvärdering av hög cykel utmattnings-skador orsakade av turbulent termisk belastning. Proceduren var baserad på en skadedatabas av tidigare observerade termiska utmattningsfall och var inriktade på T-rör. Det noterades att proceduren kanske även kunde appliceras på andra komponenter, även då dessa inte var inom ramen för projektet.

NESC-TF tog fram sorteringskriterier som specificerade hur en termisk utmattningsutvärdering kunde utföras på flera olika detaljnivåer:

Nivå 1: Ett enkelt sorteringskriterium specificeras, baserat på (nominell) ΔT mellan två blandande vätskor.

Nivå 2: Amplituden av ΔT behövs och används som indata till en analys. Spänningar och töjningar är framräknade från en värmeöverföringsanalys. Spänningsanalysen är elastisk med antagande av en sinusvariation av temperaturen vid ytan av materialet.

Nivå 3: Utmattningsutnyttjandegrad räknas fram med analys av hela belastningshistorien tillsammans med utmattningskurvor.

Nivå 4: Analyserna är baserade på brottmekanik och handlar om beräkning av tillväxt av sprickor.

Iden var att de mer komplexa metoderna, som krävde mer indata, ska innehålla mindre konservatism.

1.2 Syfte

Syftet med nuvarande projekt är att utveckla ett program paket för Nivå 2, den så kallade SIN-metoden. Modellen kan användas för att förutsäga tiden till sprickinitiering och för att ta fram screeningkriterier för temperaturskillnader i blandare och vid ytor av stänger. Proceduren tycks vara konservativ i de flesta fall, men det skall noteras att proceduren inte tillhandahåller några färdiga instruktioner för problemlösningen på grund av ämnets komplexitet och omfattning.

2 METOD

2.1 Överblick

En termisk utmattningsutvärdering består av följande steg (som specificeras i T-Utm enligt Figur 1):

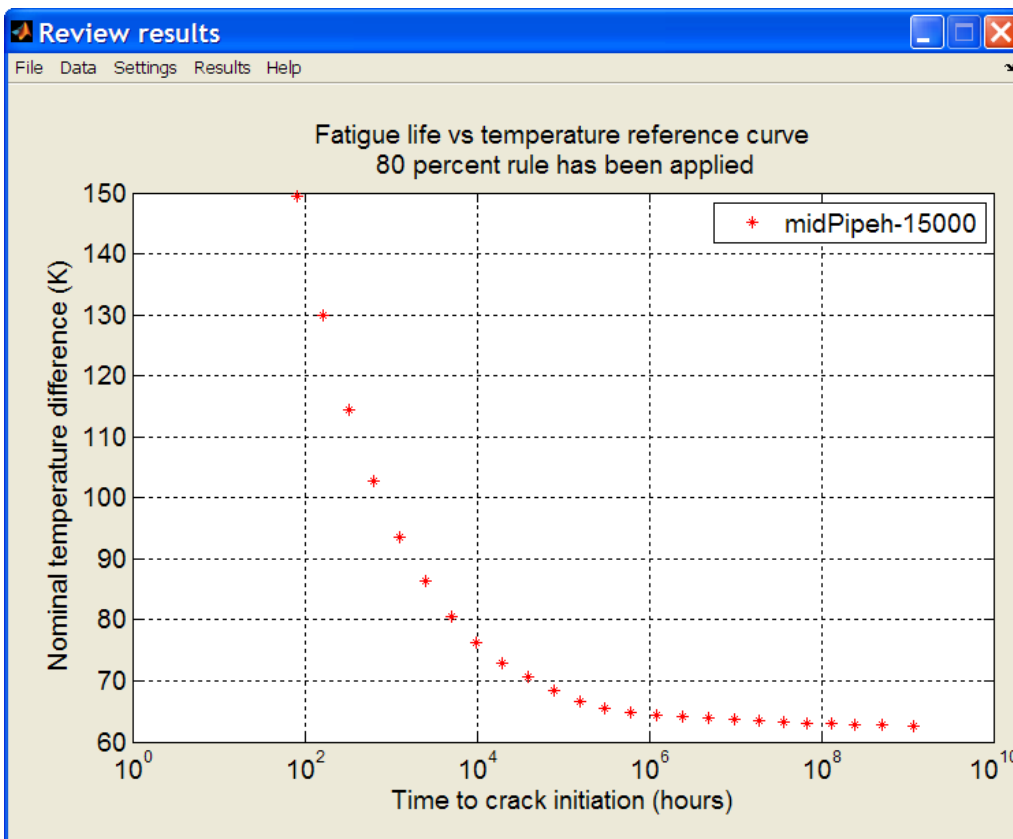
1. Definiera komponentgeometri, samt termisk belastning (avsnitt 2.2)
2. Definiera utmattningsegenskaper (avsnitt 2.3)
3. Definiera termiska, samt mekaniska, materialegenskaper (avsnitt 2.4)
4. Uppskattning av tid till sprickinitiering (avsnitt 2.5).

The screenshot shows a software window titled "Define material parameters". It contains the following fields and values:

Section	Parameter	Value
Geometry	Geometry type	Internally loaded pipe
	Internal radius	200 mm
	External radius	220 mm
	Heat transfer coefficient	30000 W/m ² K
Fatigue Properties	Fatigue curve	Mean curve - Austenitic SS, Alloy 600, Alloy 800.txt
	Plasticity correction	On
	m	0.351
	A	712 MPa
	Fatigue reduction factor K _f	1.25
	Material Parameters	Elastic modulus
Poisson's ratio		0.3
Density		7800 kg/m ³
Thermal conductivity		17.2 W/m.K
Specific heat		533 kJ/kg.K
Thermal expansion coefficient		1.802e-005 /K

Figur 1 Sidan som användas för att specificera indata till en analys.

T-Utm producerar en 'Fatigue vs Temperature Reference Curve', baserad på SIN- metoden [1]. Ett exempel på analys resultaten visas i Figur 2. Från kurvan tillåts en utvärdering av tid till sprickinitiering för en utvald nominell temperaturvariation (ΔT).

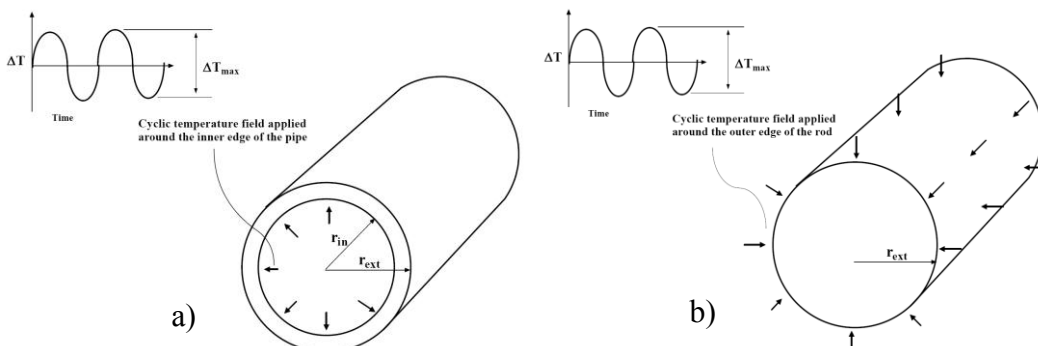


Figur 2 Exempel av en 'Fatigue vs temperature reference curve'

2.2 Geometri och termisk belastning

Som första steg i SIN- metoden definieras komponent geometrin samt den termisk belastningen. Det finns två alternativ i T-Utm som illustreras i Figur 3:

- Ett rör med uniform intern termisk belastning.** Temperaturen vid ytan varierar med tid enligt en SIN funktion men är konstant i axiell- samt omkretsriktning. En adiabatisk randvillkor antas på utsidan av röret.
- En stång med uniform extern termisk belastning.** Temperaturen vid ytan varierar med tid enligt en SIN funktion men är konstant i axiell- samt omkretsriktning.

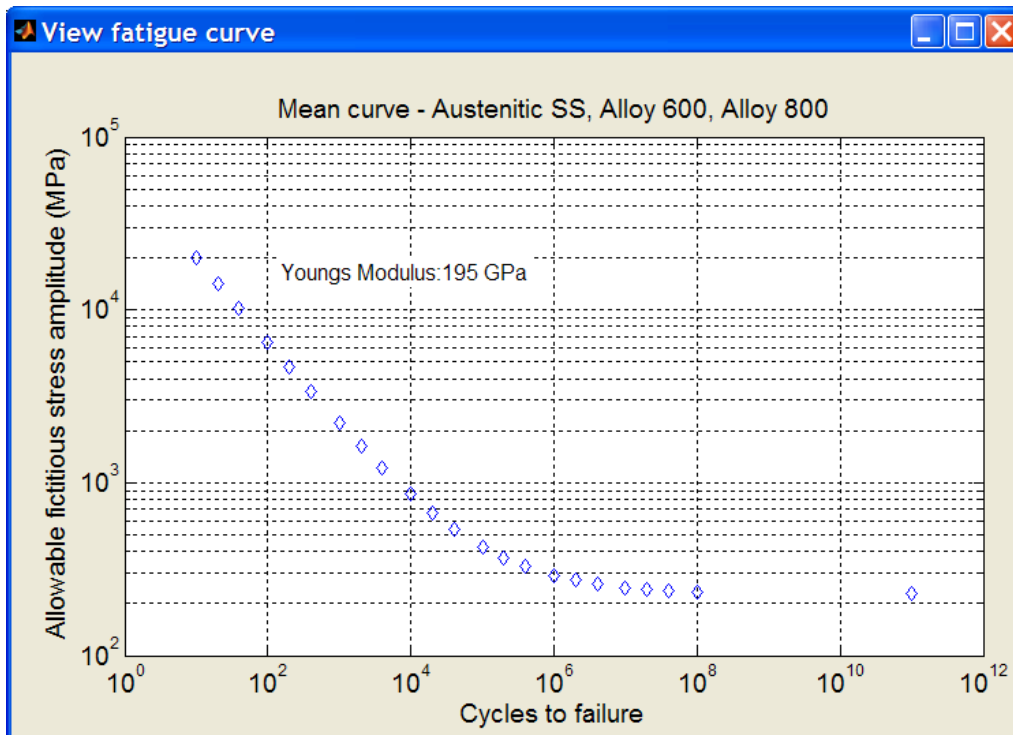


Figur 3 De två geometrier, samt belastningsscenarior, som tillåts av T-Utm. (a) Ett rör med en uniform intern termisk belastning, (b) En stång med uniform extern termisk belastning.

Ett värmeövergångstal måste specificeras. Se avsnitt 8.2.2 från NESCF-TF slutrapporten [1] för råd om specificering av h .

2.3 Utmattningssegenskaper

Användaren har val av flera utmattningskurvor som täcker flera typ av material, inklusive austenitiska rostfria stål, Ni-Cr-Fe legeringar, kol stål och 'low alloy' stål. Kurvorna har tagits från två källor: Argonne National Laboratory [4] och, som ett alternativ, Jaske och O'Donnell [2]. Ett exempel av en utmattningskurva syns i Figur 4.

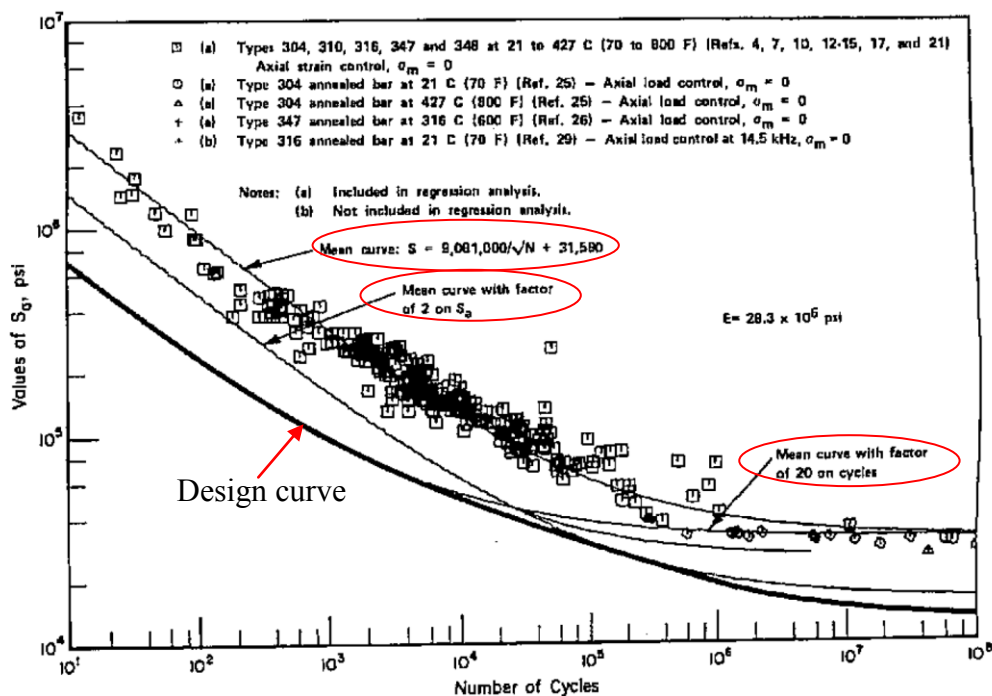


Figur 4 Exempel av en utmattningskurva som laddas i T-Utm.

Användaren måste göra följande gällande utmattningssegenskaper:

1. Specificera typ av material,
2. Välj mellan en 'design' eller 'mean' kurva, vilket är en bedömning som användaren måste göra. 'Designkurvan' kan vara en naturlig kandidat för komponent design och 'meankurvan' kan vara en naturlig kandidat för utvärdering av komponenter under drift.
3. Om 'designkurva' väljs, välj kurvan som täcker rätt 'mean stress',
4. Om 'meankurva' väljs, bestäm om en plasticitetskorrigering bör användas och specificera korrigeringsparametrarna.
5. Specificera en anvisningsfaktor som tar hänsyn till utmattningsfaktorer som är 'komponentspecifika' utöver själva utmattningskurvorna.

Tabell 1 listar utmattningskurvorna från Jaske och O'Donnell [2]. Design kurvorna är baserade på 2:20 faktorerna tillämpade på spänningsamplitud och antal cykler på samma sätt som adopterats av ASME (den faktor som är mest konservativ är faktorn som tillämpas). Konceptet är illustrerat i Figur 5 [2].



Figur 5 Illustrering av 2:20 regeln för austenitiska rostfria stål [2] där 'mean curve' modifieras med en faktor 2 på spänning och 20 på antal cykler för att ta fram en 'design curve' (indikerad).

Tabell 2 listar utmattningskurvorna från Argonne National Laboratory [4] som är inprogrammerade i T-Utm. Data är baserade på töjningsstyrd provning. Kurvorna presenteras dock som S_a vs N , där referens elasticitetsmodul som används för att räkna S_a är listad med kurvan (se t.ex Figur 1). Design kurvorna är baserade på 2:12 faktorerna tillämpade på spänningsamplitud och antal cykler (den faktor som är mest konservativ är faktorn som tillämpas).

Tabell 1 Utmattningskurvor som är inbyggda i T-Utm mjukvaran som publicerades av Jaske och O'Donnell [2]. Data gäller för temperaturer mellan 20°C till 427°C, förutom Alloy 600 där det gäller 20 °C till 316 °C.

Material	Mean utmattningskurva	Design utmattningskurvor
Austenitiskt rostfritt stål 304, 310, 316, 347, 348	Ja	Ja – kurvor som motsvara en 'mean stress' upp till 303MPa
Ni-Fe-Cr legering 800	Ja	Ja – kurvor som motsvara en 'mean stress' upp till 303MPa
Ni-Cr-Fe legering 600	Ja	Ja – kurvor som motsvara en 'mean stress' upp till 303MPa
Ni-Cr legering 718	Ja	Ja – kurvor som motsvara en 'max stress' över en cykel upp till 1010MPa

Tabell 2 Utmattningskurvor som är inbyggda i T-Utm mjukvaran och som publicerades av Argonne National Laboratory [4]. Data gäller i luftmiljö för temperaturer mellan 20°C och 371°C.

Material	Mean utmattningskurvor	Design utmattningskurva
Austenitisk rostfria stål av typ 304, 316, 304L, 316L och 316NG	Ja	Ja – 'mean stress' effekter tas hänsyn till
Ni-Fe-Cr legeringar av typ 600 och 690	Ja	Ja – 'mean stress' effekter tas hänsyn till
Ni-Fe-Cr svets legeringar av typ 152, 82, 182 och 132	Ja	Ja – 'mean stress' effekter tas hänsyn till
Kol stål	Ja	Ja – 'mean stress' effekter tas hänsyn till
'Low alloy' stål	Ja	Ja – 'mean stress' effekter tas hänsyn till

Plasticitetskorrigerig, som rekommenderas att använda under analys, baseras på följande modell av den cykliska spännings-töjnings kurvan.

$$\Delta\varepsilon(\%) = 100 \frac{\Delta\sigma}{E} + \left(\frac{\Delta\sigma}{A} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.1)$$

där $\Delta\varepsilon$, $\Delta\sigma$ och E är respektive töjningsräckvidd (%), spänningsräckvidd (MPa) och elasticitetsmodul. A och m är materialparametrar. Ekvation (2.1) används för att justera spänningsnivån orsakad av plasticering. Enligt NESC-TF rapporten[1], avsnitt 9.3.1, typiska värden för austenitiskt rostfritt stål är $A = 712\text{MPa}$ och $m=0.351$.

2.4 Termiska och mekaniska materialegenskaper

Materialegenskaper som specificeras är listade i Tabell 3.

Tabell 3 Materialegenskaper, både termiska och mekaniska, som definieras inom T-Utm mjukvaran.

Parameter	Beteckning	Mätenhet	Kommentarer
Elasticitetsmodul	E	GPa	Definieras för genomsnittlig vätsketemperatur. En typisk värde för austenitiskt rostfritt stål vid drift är 184GPa.
Poissons tal	ν	\sim	Definieras för genomsnittlig vätsketemperatur. Ett typiskt värde för austenitiskt rostfritt stål vid drift är 0.3.
Densitet	ρ	kg/m^3	Definieras för genomsnittlig vätsketemperatur. Ett typiskt värde för austenitiskt rostfritt stål vid drift är 7800.
Värmeledningstal	λ	$W/m.K$	Definieras för genomsnittlig vätsketemperatur. Ett typiskt värde för austenitiskt rostfritt stål vid drift är 17.2.
Specifikvärme	C_p	$kJ/kg.K$	Definieras för genomsnittlig vätsketemperatur. Ett typiskt värde för austenitiskt rostfritt stål vid drift är 533.
Utvidningskoefficient	α	$W/m^2.K$	Definieras för genomsnittlig vätsketemperatur. Ett typiskt värde för austenitiskt rostfritt stål vid drift är $18 \cdot 10^{-6}$.

2.5 Uppskattning av tid till sprickinitiering

Användaren kan välja mellan två olika analysätt när det gäller uppskattning av tid till sprickinitiering:

1. Uppskatta tid till sprickinitiering som en funktion av ΔT för en bestämd frekvens.
2. Uppskatta tid till sprickinitiering som en funktion av ΔT och frekvens, på så sätt att minsta tid till sprickinitiering uppskattas.

Analys som baseras på en bestämd frekvens består av följande steg:

1. **Termisk analys.** Detta görs med hjälp av en 1D, finit element modell där lösningen är gjord i frekvensdomänen. På en sida av komponenten appliceras en sinus-varierande last och på den andra antas värmeöverföring som adiabatisk. Temperaturfältet som uppskattas används sedan som indata till spänningsanalysen.
2. **Spänningsanalys.** I spänningsanalysen antas en generaliserad plan töjning i axiell led, dvs axial kraften är lika med noll. Därför beräknas spänningskomponenter med:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x(r) &= \frac{E\alpha}{(1-\nu)} \left(\frac{2I_1}{r_0^2 - r_i^2} - T(r) \right) \\ \sigma_\theta(r) &= \frac{E\alpha}{(1-\nu)r^2} \left(\frac{(r^2 + r_i^2)I_1}{r_0^2 - r_i^2} + I_r(r) - r^2 T(r) \right) \\ \sigma_r(r) &= \frac{E\alpha}{(1-\nu)r^2} \left(\frac{(r^2 - r_i^2)I_1}{r_0^2 - r_i^2} - I_r(r) \right) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} I_1 &= \int_{r_i}^{r_o} T(r) \cdot r \cdot dr \quad (2.2) \\ I_r(r) &= \int_{r_i}^r T(r) \cdot r \cdot dr \end{aligned}$$

Spänningen ges i form av en frekvensresponsfunktion, FRT, dvs varje komponent ($\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$) har en komplex form. Ur dessa komponenter bildas en komplex Tresca-spänning där absolutvärdet är amplituden S_a ,

$$\sigma_a = \sigma_{tresca} \quad (2.3)$$

3. Lastamplitudskorrigerigering

Spänningsamplituden korrigeras enligt,

$$\Delta\sigma_{a,app} = \sigma_a \frac{E_c}{E} K_r K_v \quad (2.4)$$

där E och E_c är elasticitetsmodul för material respektive elasticitetsmodul vid temperatur tagen från utmattningskurvan. K_r är en 'fatigue strength reduction factor' som specificeras av användaren för att ta hänsyn till 'komponentspecifika' detaljer som kan minska tiden till sprickinitiering. K_v är en 'plastic strain amplification' [3] som beräknas automatiskt när plastisk korrigerigering specificeras av användaren.

4. **Utvärdera tid till sprick initiering.** Den tidigare utvalda utmattningskurvan användas tillsammans med resultaten från Ekvation (2.4) för att beräkna antal cykler till sprickinitiering. Tid till sprickinitiering beräknas med hjälp av belastningsfrekvenser.
5. **Repetera för alla ΔT .** Punkt 1-4 repeteras för alla ΔT som är relevanta till analysen för att definiera tid till sprickinitiering som funktion av ΔT (visas i Figur 2).

Uppskattningen av minimal tid till sprickinitiering som funktion av frekvens och ΔT (analyssätt 2) baseras på samma metod med skillnaden att en optimeringsprocedur används för att bestämma frekvens som ger minimal tid till sprickinitiering (se avsnitt 8.2.1 i [1]).

2.6 Tolkning av resultaten för T-rör förband – 80% regeln

Referenskurvorna för utmattningslivslängd tillåter användaren att uppskatta tiden till sprickinitiering för ett givet ΔT . Vid analys av ett T-rör kan användaren välja att applicera 80% regeln, dvs en reduktion av nominella temperaturer från 100% till 80% vid den lokala analysen. Detta är en tumregel som baseras på observerade lokala temperaturvariationer på 80% eller mindre av nominell ΔT [1].

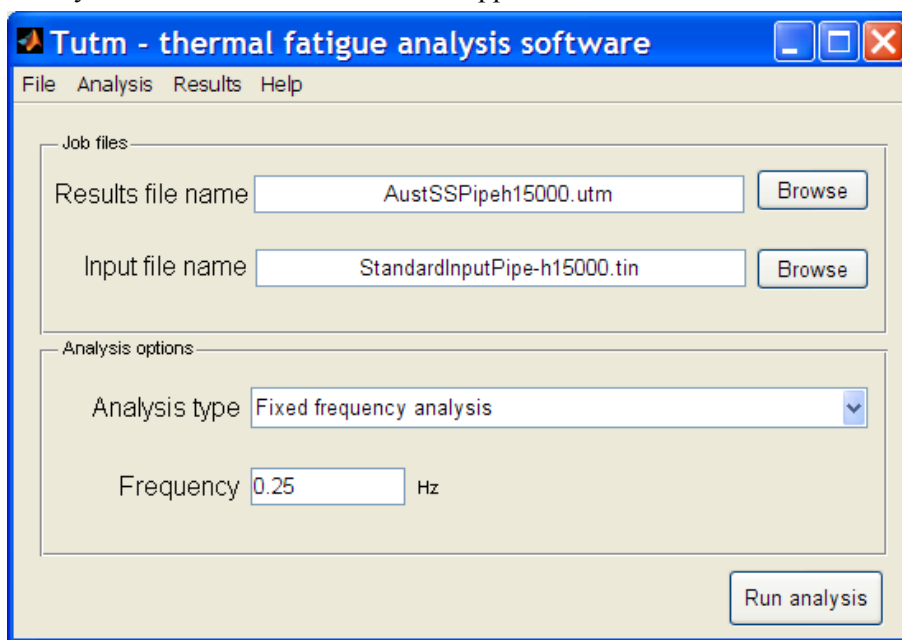
3 ANALYS MED T-UTM

T-Utm har tre huvudfönster:

1. Analysfönstret, där en analys specificeras och körs.
2. Indatafönstret, där analysparametrar relaterade till geometrin, utmattningsegenskaper och material egenskaper, specificeras och redigeras.
3. Resultatfönstret, där resultat från fler analyser laddas och jämförs.

3.1 Analysfönster

'Analysfönstret' är första fönstret som öppnas när T-Utm startas av användaren. Dess utseende visas i Figur 6.



Figur 6 Utseende av 'analysfönstret'.

3.1.1 Specificera analysfiler samt utföra en analys

En termisk utmattningsanalys görs enligt följande steg:

1. Fältet '**Results file name**' används för att specificera namnet på filen där analysresultaten kommer att sparas. Använd 'Browse' knappen för att bläddra igenom och hitta rätt fil.
2. Fältet '**Input file name**' används för att specificera namnet på indatafilen som innehåller analysparametrar enligt avsnitt 2. Denna indatafil måste sparas i förväg enligt avsnitt 3.2. Använd 'Browse' knappen för att bläddra igenom mappar och hitta rätt filer som har sparats tidigare.
3. Fältet '**Analysis type**' används för att välja analysätt. Där finns två val, 'Critical frequency analysis – minimum time to failure' och 'Fixed frequency analysis', som diskuterades i avsnitt 2.5. Om 'Fixed frequency analysis' väljs, specificera då även analysfrekvensen i 'Frequency' fältet.
4. Fältet '**Run analysis**' används för att köra igång en analys. Som alternativ används menyvalet '**Analysis** → **Run analysis**'.

3.1.2 Tillgång till andra delar av programmet

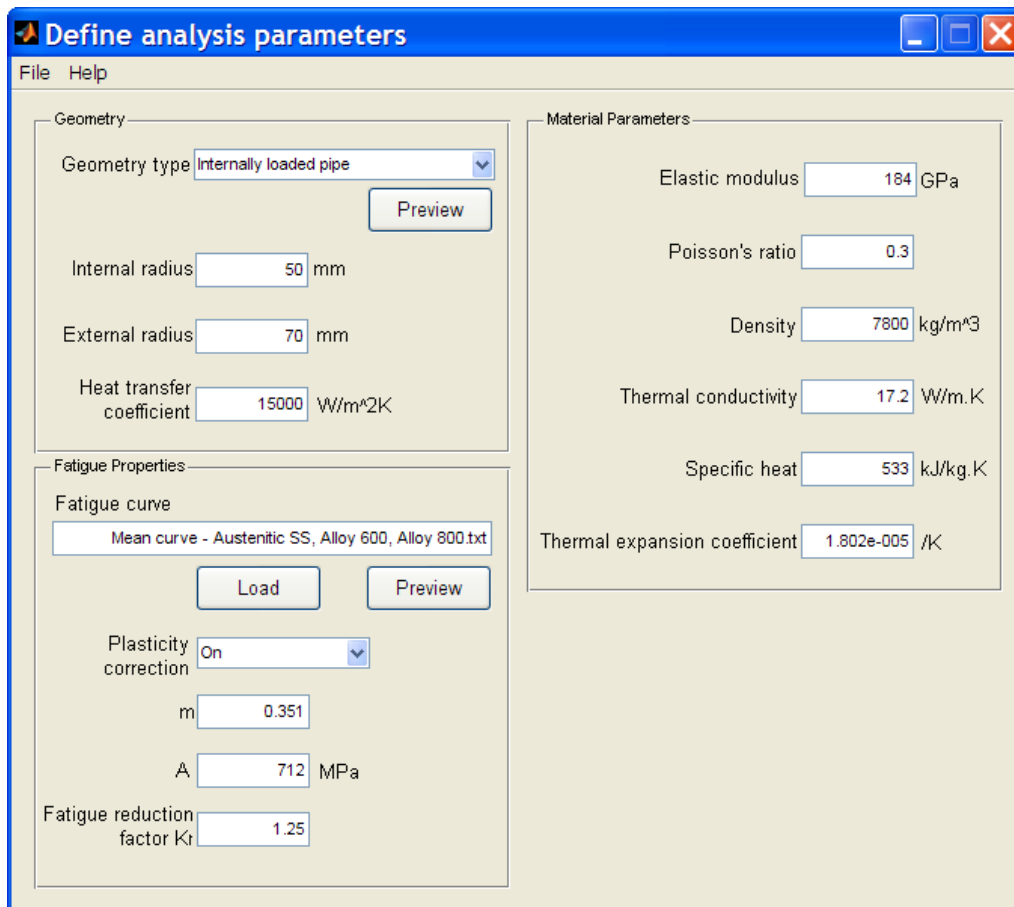
Från 'analysfönstret' är det möjligt att få tillgång till de andra delarna av programmet:

1. Menyvalet '**File**→**Define new input file**' används för att definiera nya indataparametrar och spara dessa i en '.tin' fil.
2. Menyvalet '**File**→**Edit existing input file**' används för att redigera en existerande indatafil.
3. Menyvalet '**Results**→**View results file**' används för att titta på analysresultat.
4. Menyvalet '**Help**→**Manual**' används för att få tillgång till hjälpfiler (denna rapport).

3.2 Indatafönster

Indatafönstret, som illustreras i Figur 7, används för att definiera nya analysparametrar, samt att redigera existerande analysparametrar. Följande parametrar kan specificeras eller ändras:

1. **Geometriska parametrar**, inklusive typ av geometri, relevanta radier och värmeövergångstal.
2. **Utmattningsegenskaper**, inklusive utmattningskurva, plasticitetskorrigeringsval, och 'fatigue strength reduction factor'.
3. **Materialparametrar**, som inkluderar alla de parametrar som listas i Tabell 3.



Figur 7 Utseende av 'indatafönstret'.

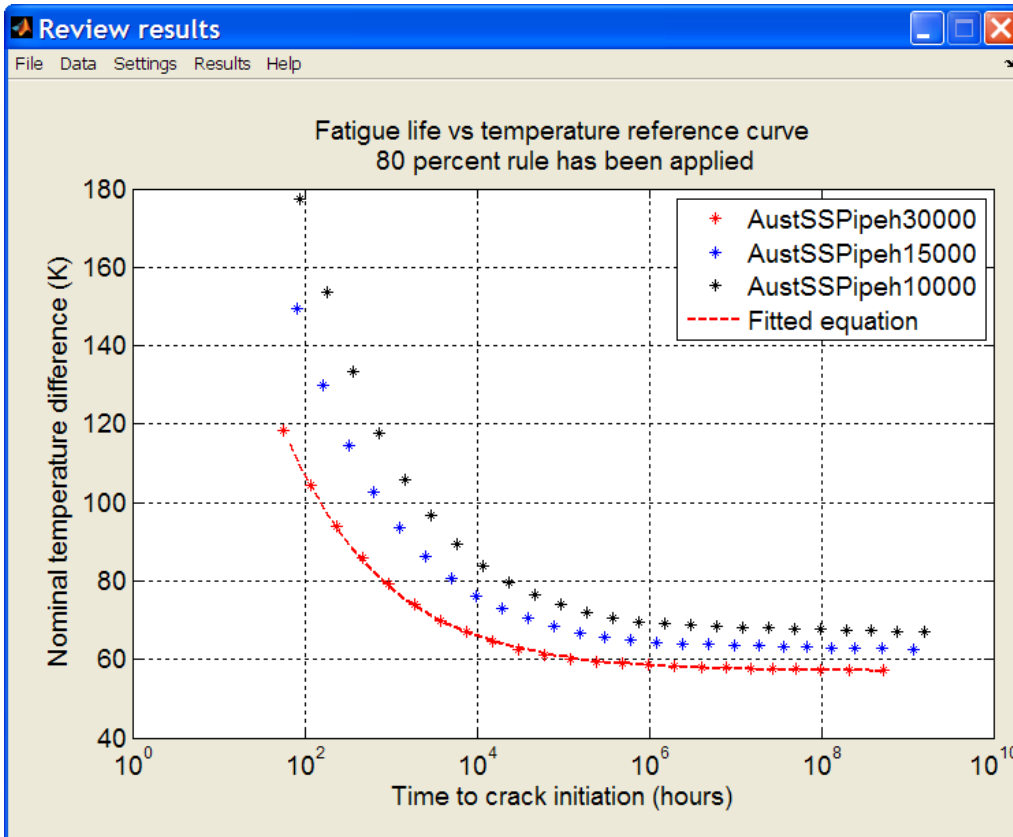
Det är möjligt att granska utvald geometri och utvald utmattningskurva med relevanta 'Preview' knappar.

Indatafiler laddas och sparas enligt följande menyval:

1. Menyvalet '**File**→**Open input file**' används för att öppna och redigera en existerande indata fil.
2. Menyvalet '**File**→**Save as**' används antingen för att spara en ny indata fil eller för att spara ändringar i en existerande indatafil.

3.3 Resultatfönster

Resultatfönstret illustreras i Figur 8 och används för att analysera, jämföra och exportera resultaten från termiska utmattningsanalyser. Det är möjligt att jämföra flera analysresultat samtidigt i fall man vill göra parameterstudier. Det är också möjligt att exportera resultaten för att utföra parameterstudier i en annan mjukvara, till exempel MS Excel.



Figur 8 Utseende av 'resultatfönstret' när tiden till sprickinitiering plottas som funktion av nominell temperaturskillnad.

Resultatfiler kan läggas till eller tas bort med hjälp av följande menyval:

1. Menyvalet '**Data→Add data file**' används för att ladda och plotta resultaten från en ytterligare resultatfil.
2. Menyvalet '**Data→Remove data file**' används för att stänga en datafil.

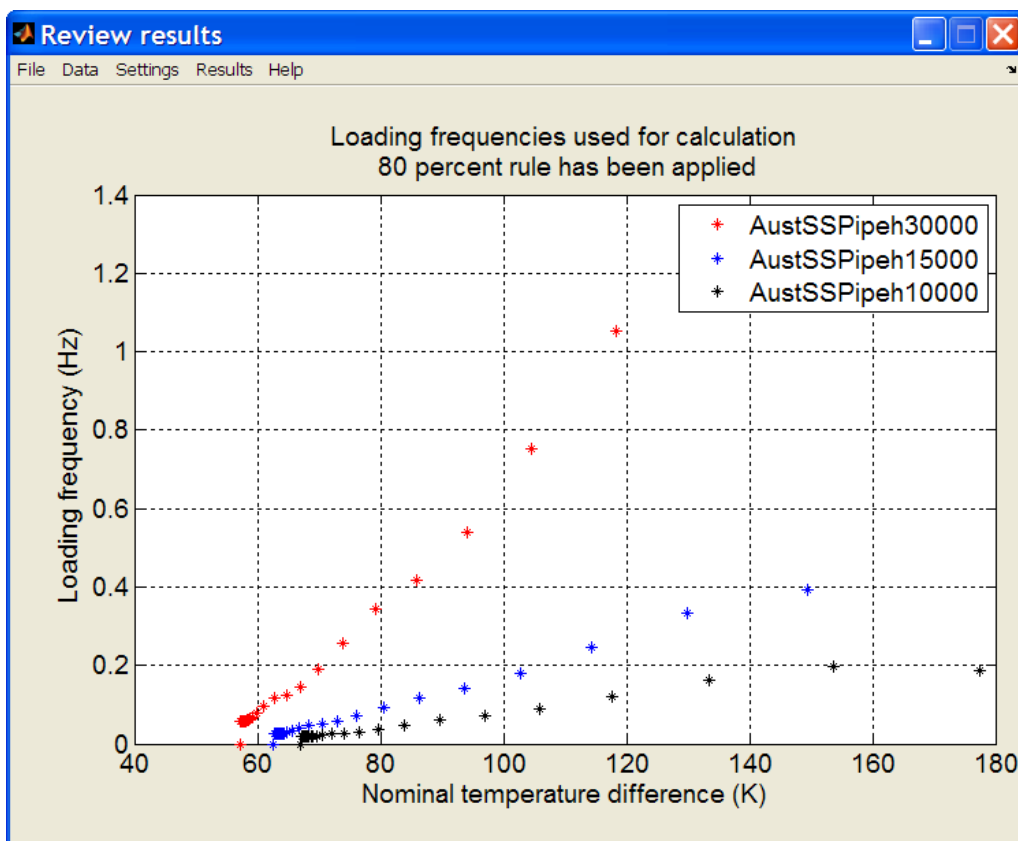
Parametrar som tidigare använts under analys kan granskas med hjälp av menyvalet: '**File→View analysis parameters**'.

Axlarna kan justeras med hjälp av menyvalet:

'**Settings→Axis properties**'.

Det finns flera olika val för vilka resultat som kommer att plottas:

1. Menyvalet '**Results→Fatigue temperature reference curve→View**' plottar tid till sprickinitiering som funktion av nominell temperaturskillnad (Figur 8).
2. Menyvalet '**Results→Frequency versus temperature curve→View**' plottar analysfrekvens mot tid till sprickinitiering. Kritiska frekvenser kommer att visas i de fall då en minimum tid till sprickinitiering har analyserats (Figur 9).

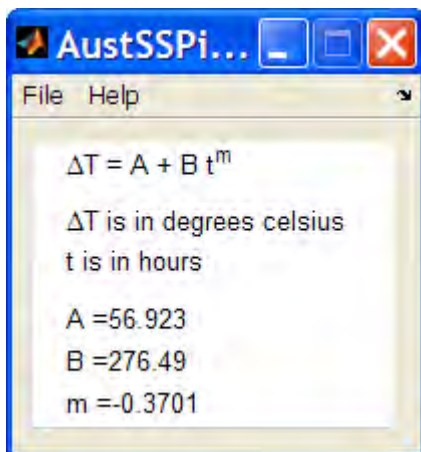


Figur 9 Utseende av 'resultatfönstret' när frekvensen plottas som en funktion av nominell temperaturskillnaden. I de analysfall som visas, har kritiska frekvenser vid sprickinitiering uppskattats.

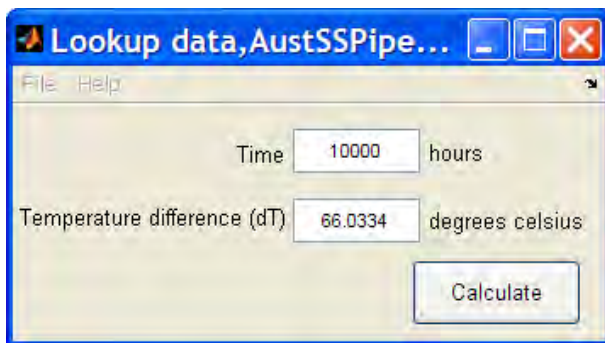
3.3.1 Plott av tid till sprickinitiering vs nominell temperaturskillnad

Man kan analysera tid till sprickinitiering vs nominell temperaturskillnad på flera olika sätt:

1. Menyvalet '**Results**→**Fatigue temperature reference curve**→**Export to file**' sparar plottdata till en '.csv' fil.
2. Menyvalet '**Results**→**Fatigue temperature reference curve**→**80% rule**' ger användaren information om 80%-regeln är applicerad eller inte.
3. Menyvalet '**Results**→**Fatigue temperature reference curve**→**Fit equation**' gör en ekvationsanpassning till en vald kurva från plotten (Figur 10).
4. Menyvalet '**Results**→**Fatigue temperature reference curve**→**Look up data**' tillåter användaren att interpolera från resultaten genom att specificera antingen en tid till sprickinitiering eller en nominell temperaturskillnad (Figur 11).



Figur 10 Utskrift efter ekvationsanpassning till resultatdata.



Figur 11 Exempel på interpolering av resultaten.

3.3.2 Plott av belastningsfrekvens vs nominell temperaturskillnad.

Man kan exportera plottdata från belastningsfrekvens vs nominell temperaturskillnad på följande sätt:

- Menyvalet '**Results**→**Frequency vs Temperature curve**→**Export data**'.

4 TILLÄMPNINGSEXEMPEL

4.1 Inverkan av belastningsfrekvensen

Vid en studie undersöktes belastningsfrekvensens inverkan på tid till (och temperatur vid) sprick initiering. Material och utmattningsegenskaper specificerades enligt Figur 12 och Figur 13. Egenskaper är representativa för ett austenitiskt rostfritt stål av typ 304. Det ska noteras att en 'mean' utmattningskurva användes. Geometrin specificerades som ett rör med inre belastning. 'Fixed frequency' analyser utfördes vid frekvenser av 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1.0 och 3.0Hz.

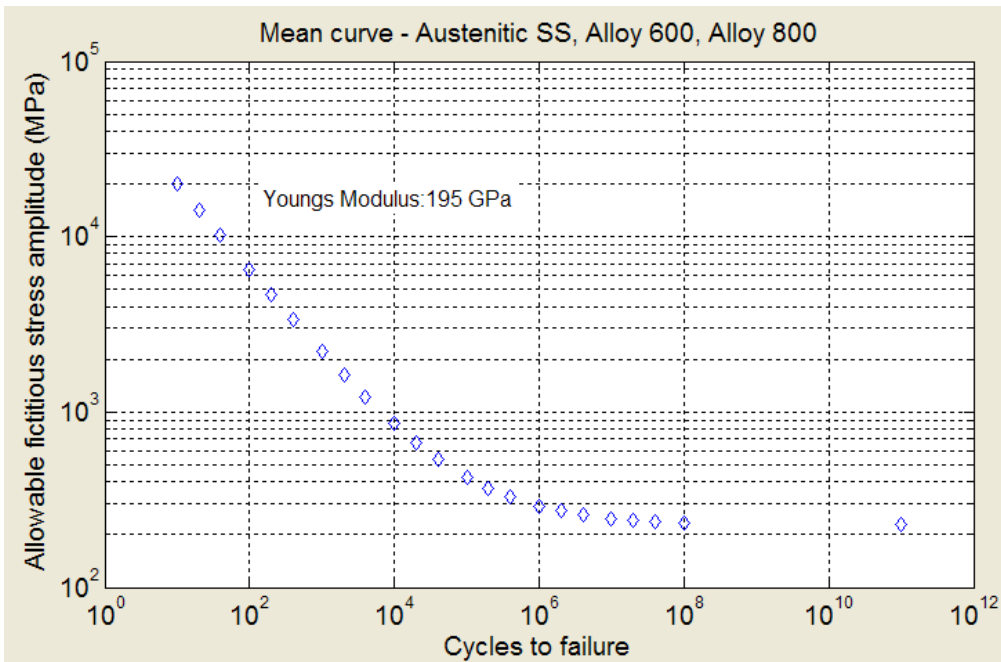
The image shows a software interface for setting up a fatigue analysis. It is divided into several sections:

- Geometry:** Geometry type: Internally loaded pipe; Internal radius: 136.5 mm; External radius: 161.5 mm; Heat transfer coefficient: 15000 W/m²K.
- Material Parameters:** Elastic modulus: 184 GPa; Poisson's ratio: 0.3; Density: 7800 kg/m³; Thermal conductivity: 17.2 W/m.K; Specific heat: 533 kJ/kg.K; Thermal expansion coefficient: 1.802e-005 /K.
- Fatigue Properties:** Fatigue curve: Mean curve - Austenitic SS, Alloy 600, Alloy 800.txt; Plasticity correction: On; m: 0.351; A: 712 MPa; Fatigue reduction factor Kr: 1.25.
- Analysis details:** Analysis file name: NESC-c1-GeomD-fD_1.utm; Analysis type: Fixed frequency analysis; Frequency: 0.1 Hz.

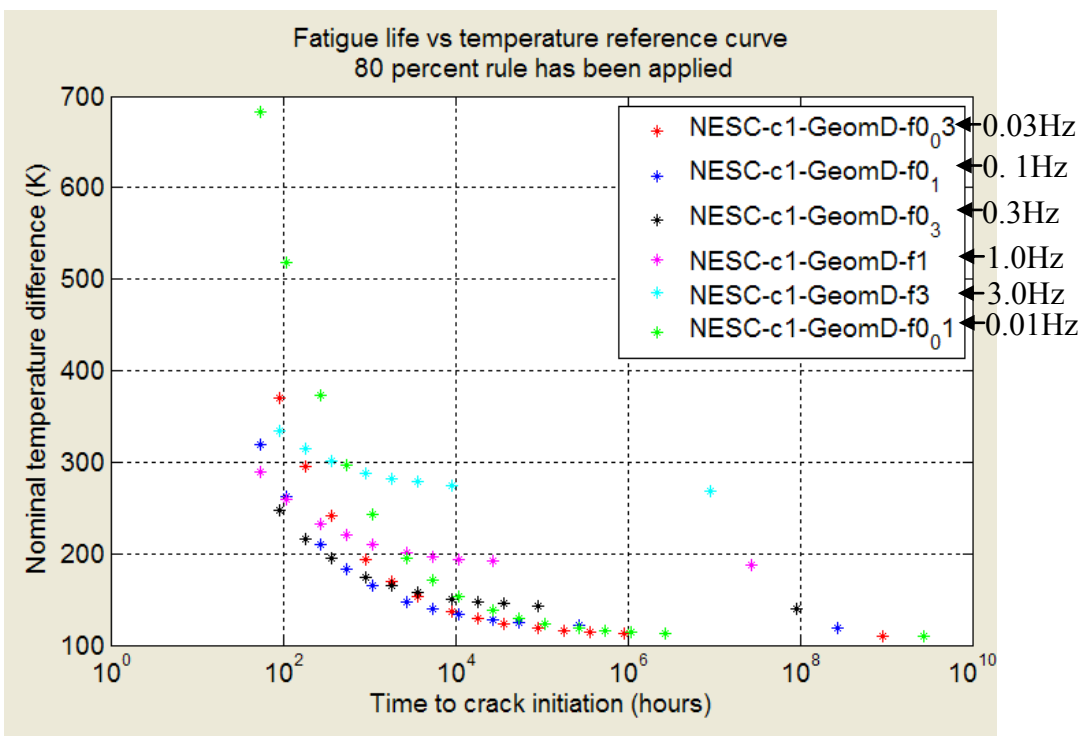
An arrow points to the frequency field (0.1 Hz) with the text "Flera *f* undersöks".

Figur 12 Parametrar som används i parameterstudien. Flera frekvenser undersökts.

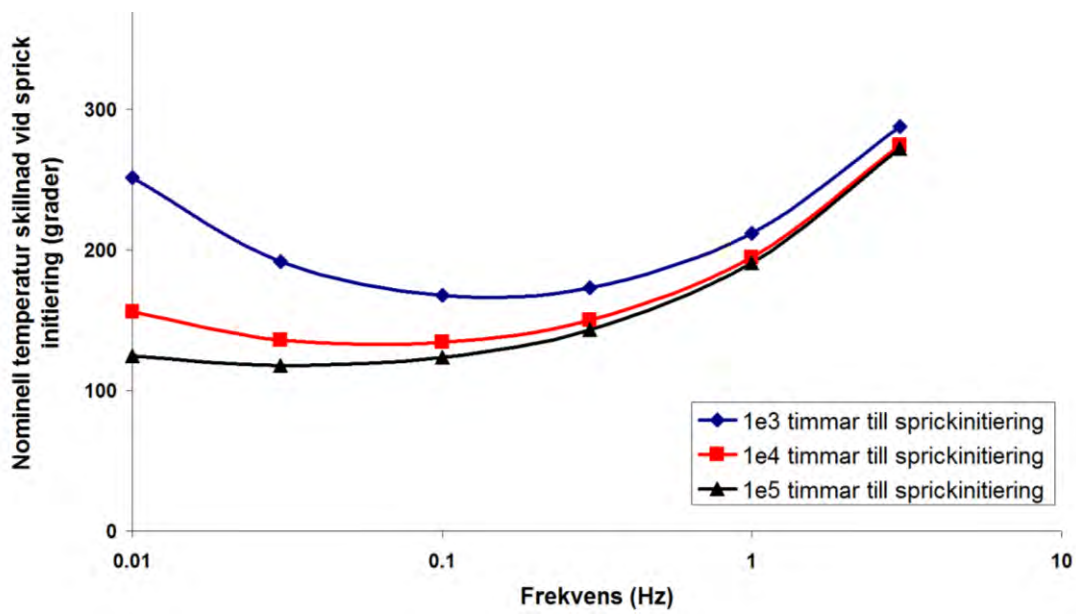
Resultaten från studien visas i Figur 14. Där finns en komplex relation mellan nominell temperaturskillnad, tid till sprickinitiering och belastningsfrekvens. Med hjälp av interpoleringsfunktionen i menyn i resultatfönstret ('Results→Fatigue temperature reference curve→Look up data') är det möjligt att få ut data från programmet och plotta resultaten som de ser ut i Figur 15. Plotten visar hur minimum nominell temperaturskillnad varierar med frekvensen för olika tider till sprickinitiering. En längre tid till sprickinitiering ger både en mindre minimum temperaturskillnad vid initiering och en mindre kritisk belastningsfrekvens.



Figur 13 Utmatningskurvan som användades i parameterstudien.



Figur 14 Resultande tid till sprickinitiering som funktion av nominell temperaturskillnad.



Figur 15 Nominell temperatur vid sprickinitiering som funktion av belastningsfrekvensen. Resultaten visas för flera olika tider till sprickinitiering.

DISKUSSION

T-Utm utgör ett förenklat sätt att analysera termisk utmattning som är ett mycket komplext problem. Programmet är giltigt framförallt för problem med turbulent blandning. Resultaten ska tolkas med försiktighet. Erfarenheten från NESC-TF visar att 3D- effekter är avgörande för sprickpropagering, vilket T-Utm inte kan fånga upp i dess nuvarande status. T-Utm bör dock kunna vara ett användbart verktyg för att studera inverkan av olika parametrar.

5 REFERENSER

- [1] Dahlberg, M., Björndahl, O., NESC-TF, *NESC TERMISK UTMATTNING*, Inspecta Teknisk Rapport #55087800 Rev 0, 2007.
- [2] Jaske, C. E., O'Donnell, W. J., *Fatigue design criteria for pressure vessel alloys*, Tans ASME Energy Technology Conference and Exhibition, Houston Texas, paper No. 77-PVP-12 1977.
- [3] Moulin, D., Roche, R.L., *Correction of the Poisson effect in the elastic analysis of low cycle fatigue*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 19, pp 213-223, 1985.
- [4] NUREG/CR-6909, *Effect of LWR Coolant Environments on Fatigue Life of Reactor Materials*, (Final Report), ANL-06/08, U.S. Nuclear Regulatory Commisiion, Washington, DC, February 2007.

6 REVISIONSFÖRTECKNING

50007270-1 rev1_0_101108

50007270-1 rev0_1_100729

50007270-1 rev0_0_100615



2010:47

Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen. Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 250 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Strålsäkerhetsmyndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00
Fax: +46 8 799 40 10

E-post: registrator@ssm.se
Webb: stralsakerhetsmyndigheten.se