



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Daniel Bremberg

Forskning

2015:03

Brottmekaniska K-lösningar för sprickor
i massiv stång med icke-linjärt rotations-
symmetriskt spänningstillstånd

SSM perspektiv

Bakgrund

De K-lösningar som sedan tidigare funnits tillgängliga i den brottmekaniska programkoden ProSACC för fallet ytsprickor i massiva stänger gäller endast för sprickor orienterade i omkretsled samt för en ren membran-spänning och en global böjspänning. Det finns behov av lösningar för belastningar som innebär icke linjära spänningstillstånd vilket innebär ett behov av att uppdatera de befintliga K-lösningarna.

Syfte

Syftet har varit att genom finita elementanalyser producera nya lösningar för spänningsintensitets-faktorn K för en ytspricka i en massiv stång utsatt för en rotationssymmetrisk spänningsfördelning.

Resultat

Nya K-lösningar är framtagna för $0,0 \leq a/R \leq 1,0$ och $0,0 \leq a/b \leq 1,0$ där a är sprickdjupet, b är spricklängdsparameter och R är stångens radie. Lösningarna inkluderar utöver global membranlast och böjlast även rotationssymmetriska spänningsfält upp till och med femte ordningen.

Anpassning av ett andragradspolynom utmed 80% av sprickfronten ligger till grund för extrapolation av K-faktorer vid den ytligaste punkten.

Kontroll av de framtagna lösningarna har genomförts för ett antal geometrikombinationer. Endast ett lastfall har beaktats, en linjärkombination av samtliga ingående formfunktioner med slumpade spänningskomponenter.

Behov av ytterligare forskning

De nya K-lösningarna täcker ett sprickdjup till och med halva stångens diameter och en spricklängd mätt längs stångens periferi svarande mot halva stångens omkrets. Den mest långsträckt sprickformen som kan analyseras är en rak sprickfront dvs. en korda till stångens cirkulära tvärsnitt. Det innebär att ännu mer långsträckta sprickor, som t.ex. kan orsaka att utmattnings-sprickor växer till runtomgående sprickor, inte täcks av de nya K-lösningarna. Det finns ett behov att utvidga K-lösningarna att täcka även runtomgående sprickor utsatt för en rotationssymmetrisk spänningsfördelning.

Projekt information

Kontaktperson SSM: Björn Brickstad

Referens: SSM2012-248



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Daniel Bremberg
Inspecta Technology AB, Stockholm

2015:03

Brottmekaniska K-lösningar för sprickor
i massiv stång med icke-linjärt rotations-
symmetriskt spänningstillstånd

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.

Innehåll

1. Inledning.....	2
2. Problembeskrivning	2
2.1 Befintliga gränslastlösningar	2
2.2 Befintliga K-lösningar	2
2.3 Nya K-lösningar	2
3. Metod	4
4. Resultat.....	6
5. Referenser.....	8
6. Geometrifunktioner – Punkt A – Djupaste punkten.....	9
7. geometrifunktioner – Punkt B – Ytligaste punkten.....	16

1. Inledning

De lösningar som sedan tidigare funnits tillgängliga i ProSACC [1] för fallet ytsprickor i massiva stänger gäller endast för sprickor orienterade i omkretsled samt för en ren membranspänning samt en global böjspänning. Det har framkommit behov av lösningar för belastningar som innebär icke linjära spänningstillstånd vilket innebär ett behov av att uppdatera de befintliga lösningarna.

2. Problembeskrivning

2.1 Befintliga gränslastlösningar

Den befintliga gränslastlösningen [2] täcker global membranlast och böjlast. Bedömningen är att den befintliga lösningen inte behöver uppdateras eller ersättas och att den är att föredra framför lösningarna i BS7910:1999 [3] och R6 Rev 4 [4].

2.2 Befintliga K-lösningar

De befintliga K-lösningarna [2] i ProSACC beräknar K-faktorerna för positionerna A och B genom (1) där a är sprickdjupet och f är geometrifunktioner. Index m och b representerar membranspänning respektive global böjspänning. Spänningstillståndet i stängen (orienterat ortogonalt mot sprickytan) lineariseras genom (2) med den lokala koordinaten $0 \leq u \leq 2R$ där R är stängens radie. Samtliga geometriska mått illustreras i Figur 1. Sprickans dimensioner begränsas av $0.1 \leq a/R \leq 1.0$ och $0.0 \leq a/b \leq 1.0$. Den befintliga formuleringen begränsar möjligheten till analys av rotationssymmetriska spänningstillstånd, vilket beror på avsaknaden av geometrifunktioner tillhörande högre ordningens spänningsfält.

$$K_I = \sqrt{\pi a} [\sigma_m f_m + \sigma_b f_b] \quad (1)$$

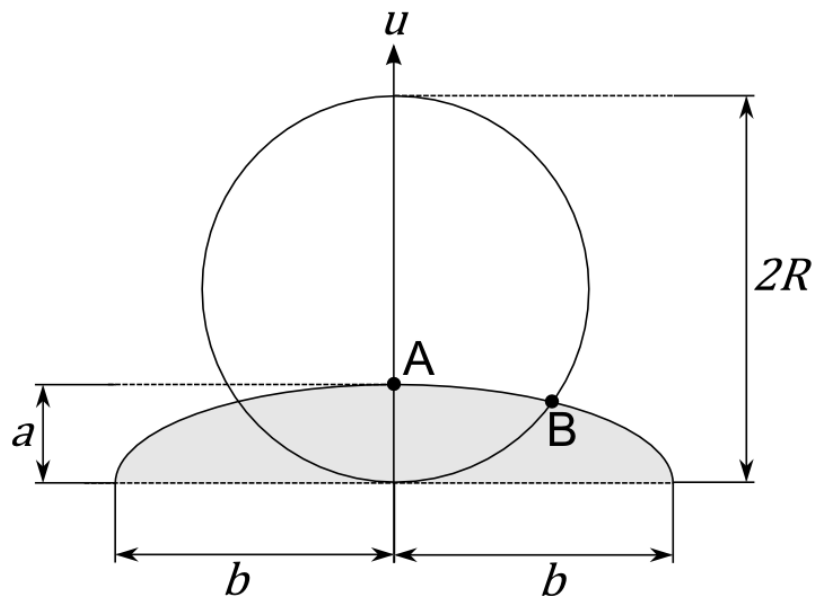
$$\sigma = \sigma(u) = \sigma_m + \sigma_b \left(1 - \frac{u}{R}\right) \quad (2)$$

2.3 Nya K-lösningar

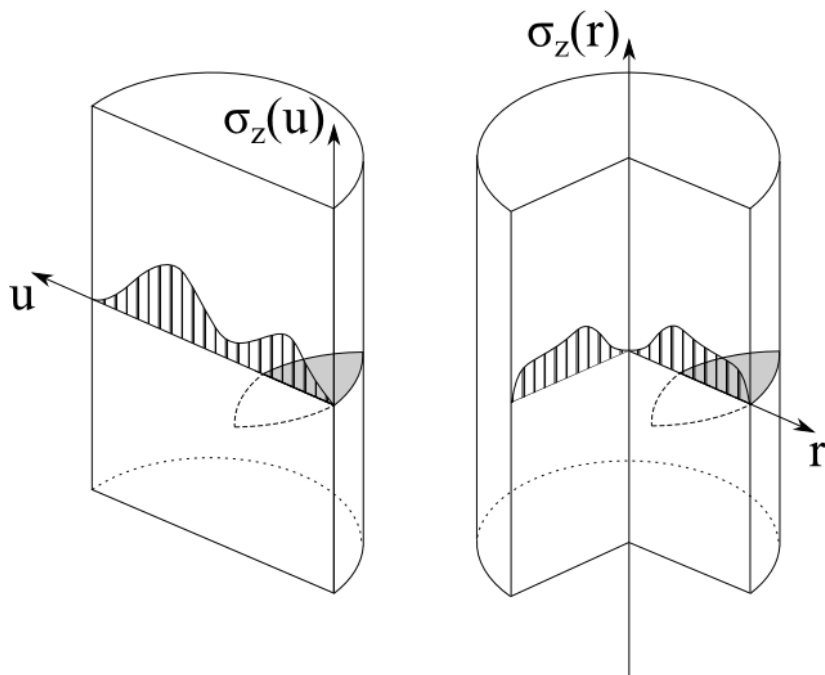
De nya lösningarna inkluderar utöver global membranlast och böjlast även rotationssymmetriska spänningsfält upp till och med femte ordningen, se ekvation (3) och Figur 2. En annan skillnad ligger i definitionen av det polynom som anpassas det analyserade spänningsfältet, se ekvation (4) och Figur 3. Global membranlast i ekvationerna (3) och (4) täcks av fallet med konstant rotationssymmetrisk last. De nya lösningarna är framtagna för $0.0 \leq a/R \leq 1.0$ och $0.0 \leq a/b \leq 1.0$.

$$K_I = \sqrt{\pi a} \left[\sigma_b f_b + \sum_{i=0}^5 \sigma_i f_i \right] \quad (3)$$

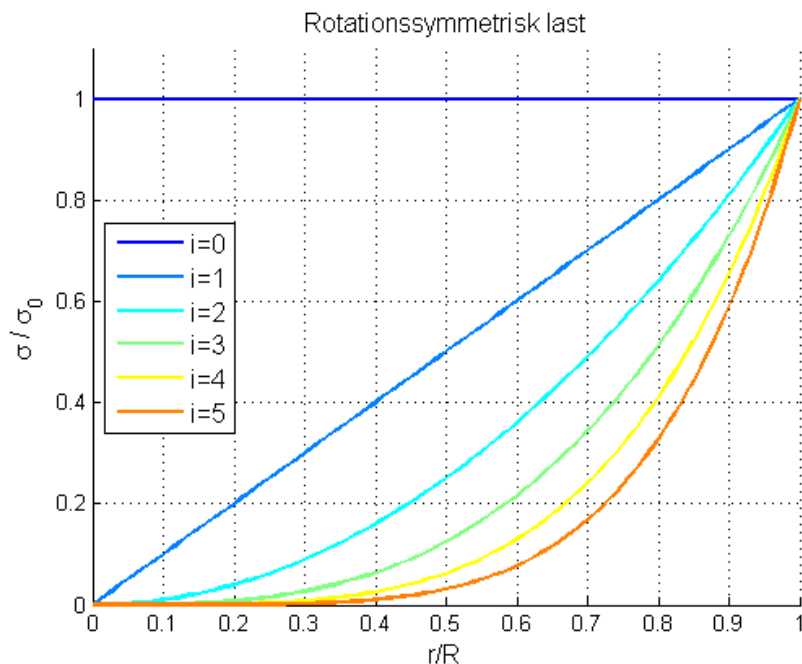
$$\sigma = \sigma(u, r) = \sigma_b \cdot \left(1 - \frac{u}{R} \right) + \sum_{i=0}^5 \sigma_i \left(\frac{r}{R} \right)^i \quad (4)$$



Figur 1 Geometri för semielliptisk ytspricka i solid stång.



Figur 2 Globala och rotationssymmetriska spänningstillstånd definierade för koordinaterna u och r .



Figur 3 Rotationssymmetrisk last - konstant till funktion av femte grad.

3. Metod

K-faktorer har beräknats numeriskt m.h.a. ABAQUS från en uppsättning FE-modeller vilka täcker ett större intervall av geometriska variationer, se Tabell 1. För att erhålla resultat för mellanliggande geometriska variationer har interpolation eller i vissa fall extrapolation genomförts baserat på de numeriskt framräknade resultaten. För fallen $a/b=0.0$ har en spricka med rak sprickfront modellerats. Fyra utvalda tvärsnitt från de analyserade FE-modellerna visas i Figur 4.

För varje analyserad geometri har sju lastfall beaktats. Lasterna har införts som tryck på sprickytorna med stöd i superpositionsprincipen. Det pålagda trycket varierar med djupet för böjande last och med radien för axisymmetrisk last. Global membran last täcks av fallet med konstant axisymmetrisk last.

K-faktorerna är beräknade från J-integralvärden vilka har säkerställts uppvisa ett vägoberoende utmed ökad radie kring sprickspetsen. De numeriska resultaten är tillförlitliga i den djupaste punkten (Punkt A i Figur 1) av de analyserade sprickformerna där plan töjning råder. För den ytligaste punkten (Punkt B i Figur 1) innefattar de numeriska resultaten en osäkerhet vilket delvis kan förklaras av yteffekter och avsaknaden av tillståndet plan töjning.

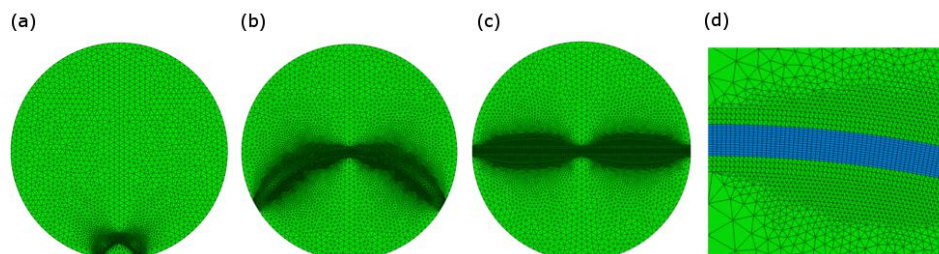
Referens [5] redovisar en genomgång av ett antal tillgängliga K-lösningar. Genomgången som fokuserar på raka och krökta sprickor i stänger utsatta för membran dragspänning visar på stor spridning i resultaten. Spridningen är störst för den ytligaste punkten men är även

betydande för den djupaste punkten och ökar med ökat sprickdjup. För den ytligaste punkten kan den stora spridningen bero på olika metoder för framräkning av K-faktorerna. Referens [6] söker stöd i experiment för extrapolation av K-faktorer utmed sprickfronten för uppskattning av K-värdet vid den ytligaste punkten. Experimenten har genomförts med utmattningslast och sprickfrontsmarkeringar med kända intervaller i lastcykler möjliggjorde en baklänges utvärdering av K-faktorer utifrån tillväxtlag och uppmätta avstånd mellan markeringarna. Utvärderingen och diskussionen i [6] stödjer metoden med en anpassning av ett andragsgradspolynom utmed 80 % av sprickfronten för extrapolation av värdet vid den ytligaste punkten.

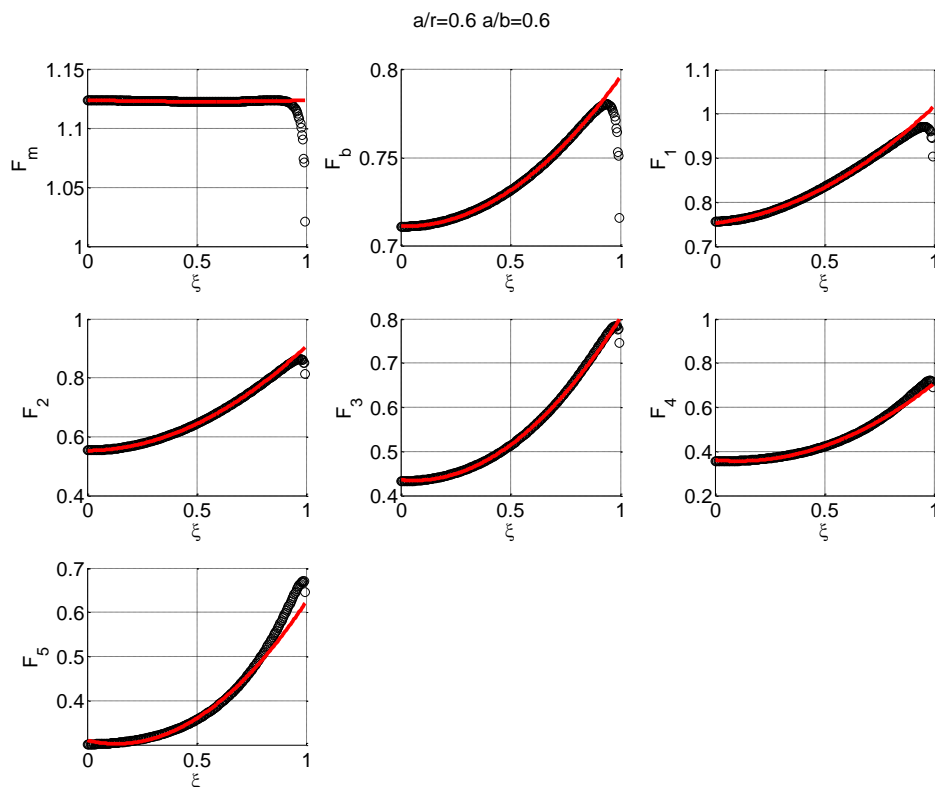
Ovanstående metod har tillämpats i detta projekt för framtagning av K-faktorer vid ytligaste punkten. Ett exempel på numeriskt beräknade K-faktorer och motsvarande anpassning ges i Figur 5. De framtagna geometrifunktionerna för den djupaste och ytligaste punkten redovisas i tabulerad form i kapitel 6 och 7.

Tabell 1 Sammanställning av metod för framtagning av K-lösningar för ingående geometrier.

		a/R											
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
a/b	0.0	E	E	N	I	N	I	N	I	N	I	N	
	0.1	E	E	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
	0.2	E	E	N	I	N	I	N	I	N	I	N	
	0.3	E	E	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
	0.4	E	E	N	I	N	I	N	I	N	I	N	
	0.5	E	E	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
	0.6	E	E	N	I	N	I	N	I	N	I	N	
	0.7	E	E	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
	0.8	E	E	N	I	N	I	N	I	N	I	N	
	0.9	E	E	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
1.0	E	E	N	I	N	I	N	I	N	I	N		
		N = Numeriskt				I = Interpolation				E = Extrapolation			



Figur 4 Tvärsnittsbilder av symmetriplanet för ett urval av analyserade FE-modeller där (a) $a/r=0.2$ och $a/b=1.0$, (b) $a/r=1.0$ och $a/b=1.0$ samt (c) $a/r=1.0$ och $a/b=0.0$. Integrationsdomänen markerad med blå färg (d) omges av en hög densitet element i områden i direkt anslutning till sprickfronten.

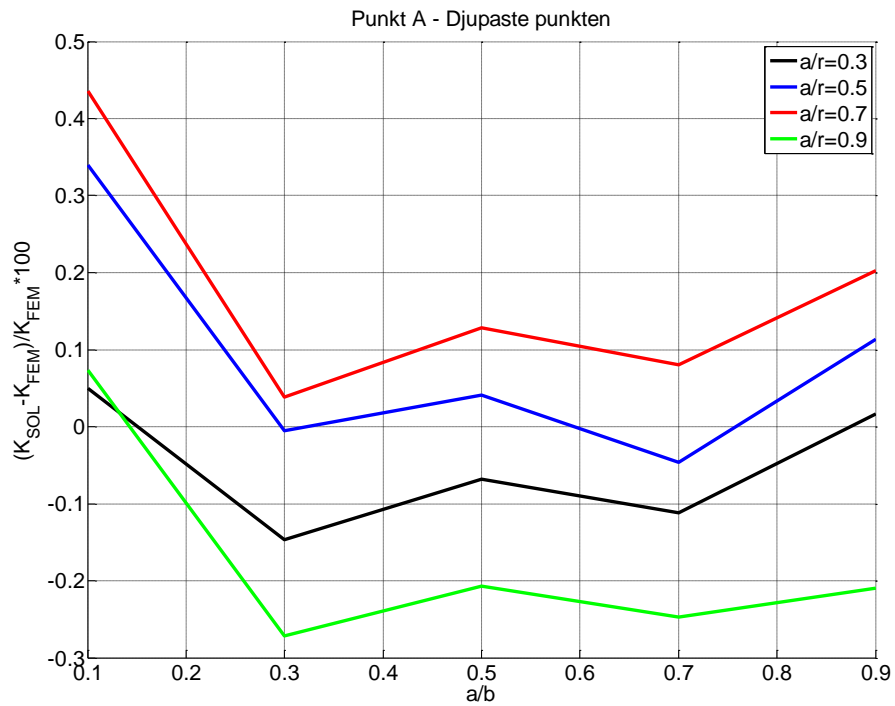


Figur 5 Normaliserade numeriskt beräknade K -faktorfördelningar (svart färg) från djupaste punkten till den ytligaste punkten för geometrikombinationen $a/r=0.6$ och $a/b=0.6$. En anpassning av ett andragradspolynom utmed 80 % av sprickfronten (röd färg) utgör grunden för extrapolation av K -faktorerna vid den ytligaste punkten.

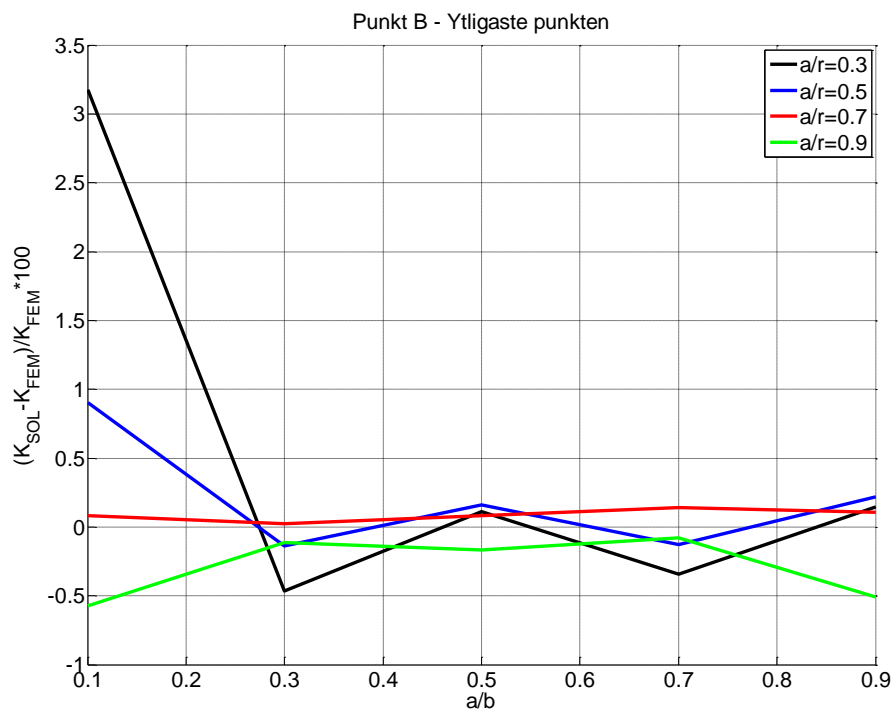
4. Resultat

Kontroll av de framtagna lösningarna har genomförts för ett antal geometrikombinationer för vilka lösningarna har framtagits genom interpolation från numeriska resultat. Endast ett lastfall har beaktats, en linjärkombination av samtliga ingående formfunktioner med slumpade spänningskomponenter enligt (5). Relativfelet för den djupaste punkten är mycket låga ($< 0,5\%$) medan relativfelet uppvisar något högre avvikelser för den ytligaste punkten ($< 1\%$) och uppgår som mest till 3% för ett av de kontrollerade fallen. För den ytligaste punkten finns en skönjbar trend att relativfelet för rakare sprickfronter ökar med minskat sprickdjup. Detta är rimligt då vinkeln mellan sprickfronten och den fria randen blir mindre gynnsam med minskat sprickdjup. De framtagna lösningarna stämmer väl överens med de genomförda numeriska kontrollberäkningarna.

$$\begin{bmatrix} \sigma_b \\ \sigma_0 \\ \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3939 \\ 0.3354 \\ 0.3970 \\ 0.5087 \\ 0.9856 \\ 0.9492 \\ 0.0571 \end{bmatrix} \quad (5)$$



Figur 6 Relativfel för de nya lösningarna jämfört med FE-beräkningar för den djupaste punkten.



Figur 7 Relativfel för de nya lösningarna jämfört med FE-beräkningar för den ytligaste punkten.

5. Referenser

- [1] Dillström P, Bergman M, Brickstad B, et al., "A combined deterministic and probabilistic procedure for safety assessment of components with cracks - Handbook," Research 2008:01, Swedish Radiation Safety Authority, 2008.
- [2] B. Klasén and P. Dillström, "Stress Intensity Factors and Limit Load Solutions for Surface Cracks in Round Bars," Det Norske Veritas, 2001.
- [3] BS7910:1999, Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures, 1999.
- [4] R6 – Revision 4, Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects, British Energy Generation Ltd, 2012.
- [5] J. Toribio, N. Álvarez, B. González, and J.C. Matos, "A critical review of stress intensity factor solutions for surface cracks in round bars subjected to tension loading," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 16, pp. 794-809, 2009.
- [6] C.S. Shin and C.Q. Cai, "Experimental and finite element analyses on stress intensity factors of an elliptical surface crack in a circular shaft under tension and bending," *International Journal of Fracture*, Vol. 129, pp. 239-264, 2004.

6. Geometrifunktioner – Punkt A – Djupaste punkten

Tabell 2 Punkt A – Djupaste punkten – Geometrifunktion f_b

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	1.0497	0.9711	0.9138	0.8769	0.8597	0.8612	0.8804	0.9177	0.9772	1.0641	1.1839
	0.1	1.0427	0.9665	0.9111	0.8758	0.8597	0.8618	0.8812	0.9182	0.9770	1.0628	1.1810
	0.2	1.0188	0.9467	0.8943	0.8610	0.8459	0.8484	0.8677	0.9039	0.9614	1.0453	1.1608
	0.3	0.9822	0.9152	0.8663	0.8351	0.8210	0.8234	0.8418	0.8766	0.9319	1.0128	1.1243
	0.4	0.9367	0.8753	0.8300	0.8008	0.7871	0.7889	0.8057	0.8382	0.8903	0.9669	1.0726
	0.5	0.8865	0.8304	0.7884	0.7606	0.7469	0.7472	0.7616	0.7907	0.8382	0.9087	1.0067
	0.6	0.8355	0.7839	0.7445	0.7173	0.7026	0.7006	0.7113	0.7358	0.7772	0.8398	0.9276
	0.7	0.7871	0.7387	0.7007	0.6732	0.6567	0.6513	0.6573	0.6757	0.7095	0.7621	0.8371
	0.8	0.7419	0.6959	0.6585	0.6301	0.6111	0.6017	0.6024	0.6138	0.6386	0.6797	0.7401
	0.9	0.7001	0.6558	0.6188	0.5894	0.5678	0.5544	0.5495	0.5536	0.5689	0.5976	0.6421
	1.0	0.6614	0.6190	0.5826	0.5525	0.5288	0.5118	0.5016	0.4987	0.5045	0.5206	0.5488

Tabell 3 Punkt A – Djupaste punkten – Geometrifunktion f_0

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	1.0457	1.0375	1.0500	1.0872	1.1530	1.2515	1.3867	1.5652	1.8046	2.1249	2.5462
	0.1	1.0377	1.0316	1.0460	1.0849	1.1522	1.2519	1.3878	1.5665	1.8054	2.1244	2.5434
	0.2	1.0132	1.0100	1.0263	1.0662	1.1334	1.2320	1.3659	1.5417	1.7763	2.0893	2.5002
	0.3	0.9761	0.9762	0.9943	1.0341	1.0999	1.1955	1.3249	1.4947	1.7213	2.0235	2.4205
	0.4	0.9305	0.9339	0.9531	0.9921	1.0550	1.1458	1.2684	1.4294	1.6443	1.9313	2.3083
	0.5	0.8803	0.8865	0.9062	0.9435	1.0022	1.0865	1.2003	1.3497	1.5496	1.8166	2.1677
	0.6	0.8296	0.8376	0.8569	0.8914	0.9449	1.0212	1.1242	1.2597	1.4410	1.6834	2.0024
	0.7	0.7816	0.7902	0.8081	0.8390	0.8862	0.9534	1.0440	1.1633	1.3231	1.5368	1.8179
	0.8	0.7372	0.7453	0.7612	0.7880	0.8286	0.8862	0.9638	1.0659	1.2025	1.3849	1.6244
	0.9	0.6962	0.7034	0.7171	0.7399	0.7743	0.8227	0.8877	0.9729	1.0862	1.2367	1.4336
	1.0	0.6586	0.6649	0.6769	0.6965	0.7255	0.7659	0.8197	0.8895	0.9812	1.1015	1.2572

Tabell 4 Punkt A – Djupaste punkten – Geometrifunktion f_1

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	1.0409	0.9708	0.9218	0.8949	0.8915	0.9125	0.9592	1.0349	1.1516	1.3237	1.5651
	0.1	1.0368	0.9670	0.9187	0.8929	0.8906	0.9127	0.9602	1.0362	1.1527	1.3237	1.5633
	0.2	1.0148	0.9476	0.9012	0.8766	0.8747	0.8965	0.9430	1.0173	1.1312	1.2983	1.5325
	0.3	0.9791	0.9161	0.8723	0.8487	0.8464	0.8667	0.9106	0.9812	1.0901	1.2504	1.4756
	0.4	0.9340	0.8760	0.8349	0.8121	0.8088	0.8263	0.8660	0.9311	1.0326	1.1831	1.3955
	0.5	0.8839	0.8309	0.7923	0.7697	0.7645	0.7782	0.8123	0.8701	0.9618	1.0994	1.2950
	0.6	0.8331	0.7841	0.7474	0.7243	0.7165	0.7254	0.7526	0.8013	0.8808	1.0024	1.1770
	0.7	0.7851	0.7389	0.7029	0.6786	0.6674	0.6707	0.6899	0.7279	0.7932	0.8957	1.0454
	0.8	0.7406	0.6961	0.6602	0.6342	0.6193	0.6166	0.6274	0.6540	0.7039	0.7856	0.9077
	0.9	0.6995	0.6561	0.6201	0.5925	0.5741	0.5657	0.5684	0.5839	0.6184	0.6789	0.7725
	1.0	0.6615	0.6194	0.5836	0.5549	0.5337	0.5206	0.5161	0.5217	0.5420	0.5824	0.6484

Tabell 5 Punkt A – Djupaste punkten – Geometrifunktion f_2

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	1.0308	0.9082	0.8139	0.7481	0.7108	0.7021	0.7221	0.7724	0.8609	0.9971	1.1905
	0.1	1.0290	0.9058	0.8117	0.7465	0.7101	0.7023	0.7230	0.7736	0.8619	0.9973	1.1891
	0.2	1.0087	0.8882	0.7961	0.7322	0.6964	0.6887	0.7088	0.7584	0.8448	0.9774	1.1652
	0.3	0.9743	0.8587	0.7698	0.7076	0.6722	0.6638	0.6822	0.7292	0.8121	0.9397	1.1208
	0.4	0.9302	0.8208	0.7357	0.6753	0.6400	0.6300	0.6457	0.6888	0.7663	0.8867	1.0583
	0.5	0.8808	0.7778	0.6967	0.6379	0.6021	0.5898	0.6016	0.6395	0.7099	0.8207	0.9798
	0.6	0.8303	0.7333	0.6555	0.5978	0.5609	0.5456	0.5526	0.5839	0.6454	0.7443	0.8877
	0.7	0.7824	0.6901	0.6148	0.5575	0.5189	0.4999	0.5012	0.5247	0.5756	0.6603	0.7850
	0.8	0.7378	0.6491	0.5757	0.5184	0.4778	0.4548	0.4501	0.4652	0.5046	0.5736	0.6776
	0.9	0.6966	0.6109	0.5391	0.4817	0.4393	0.4125	0.4020	0.4088	0.4367	0.4898	0.5723
	1.0	0.6587	0.5760	0.5059	0.4488	0.4051	0.3753	0.3597	0.3591	0.3763	0.4142	0.4759

Tabell 6 Punkt A – Djupaste punkten – Geometrifunktion f_3

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	1.0219	0.8510	0.7229	0.6346	0.5833	0.5658	0.5794	0.6223	0.6986	0.8134	0.9723
	0.1	1.0214	0.8497	0.7214	0.6335	0.5828	0.5660	0.5801	0.6233	0.6994	0.8137	0.9714
	0.2	1.0025	0.8335	0.7074	0.6209	0.5709	0.5544	0.5682	0.6106	0.6852	0.7973	0.9518
	0.3	0.9694	0.8059	0.6834	0.5990	0.5499	0.5331	0.5457	0.5862	0.6580	0.7661	0.9154
	0.4	0.9265	0.7700	0.6521	0.5702	0.5218	0.5041	0.5148	0.5522	0.6199	0.7223	0.8640
	0.5	0.8780	0.7292	0.6162	0.5368	0.4887	0.4697	0.4774	0.5109	0.5729	0.6678	0.7995
	0.6	0.8282	0.6867	0.5783	0.5010	0.4528	0.4317	0.4359	0.4641	0.5192	0.6045	0.7236
	0.7	0.7807	0.6455	0.5408	0.4650	0.4161	0.3924	0.3922	0.4143	0.4609	0.5349	0.6390
	0.8	0.7362	0.6064	0.5049	0.4301	0.3802	0.3537	0.3487	0.3642	0.4017	0.4630	0.5504
	0.9	0.6951	0.5699	0.4713	0.3975	0.3468	0.3175	0.3080	0.3169	0.3450	0.3935	0.4636
1.0	0.6575	0.5366	0.4408	0.3683	0.3173	0.2859	0.2723	0.2752	0.2946	0.3307	0.3840	

Tabell 7 Punkt A – Djupaste punkten – Geometrifunktion f_4

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	1.0028	0.7958	0.6458	0.5464	0.4910	0.4731	0.4860	0.5250	0.5918	0.6901	0.8235
	0.1	1.0030	0.7951	0.6450	0.5458	0.4908	0.4734	0.4867	0.5259	0.5926	0.6904	0.8228
	0.2	0.9851	0.7802	0.6323	0.5346	0.4805	0.4633	0.4765	0.5149	0.5804	0.6764	0.8063
	0.3	0.9533	0.7543	0.6103	0.5150	0.4619	0.4447	0.4570	0.4939	0.5571	0.6499	0.7754
	0.4	0.9117	0.7203	0.5814	0.4890	0.4370	0.4194	0.4301	0.4646	0.5244	0.6125	0.7318
	0.5	0.8645	0.6816	0.5482	0.4588	0.4076	0.3892	0.3977	0.4289	0.4841	0.5659	0.6769
	0.6	0.8158	0.6412	0.5131	0.4264	0.3758	0.3559	0.3615	0.3885	0.4379	0.5118	0.6123
	0.7	0.7690	0.6018	0.4785	0.3939	0.3432	0.3213	0.3233	0.3453	0.3878	0.4522	0.5401
	0.8	0.7251	0.5646	0.4453	0.3625	0.3114	0.2873	0.2854	0.3019	0.3367	0.3906	0.4646
	0.9	0.6845	0.5298	0.4143	0.3332	0.2818	0.2557	0.2500	0.2609	0.2878	0.3310	0.3904
	1.0	0.6473	0.4982	0.3863	0.3071	0.2559	0.2281	0.2191	0.2249	0.2444	0.2770	0.3224

Tabell 8 Punkt A – Djupaste punkten – Geometrifunktion f_5

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.9690	0.7411	0.5803	0.4773	0.4226	0.4067	0.4202	0.4557	0.5144	0.5994	0.7140
	0.1	0.9695	0.7409	0.5800	0.4771	0.4227	0.4072	0.4209	0.4565	0.5150	0.5996	0.7136
	0.2	0.9525	0.7271	0.5685	0.4672	0.4136	0.3983	0.4119	0.4469	0.5044	0.5875	0.6993
	0.3	0.9219	0.7026	0.5482	0.4494	0.3970	0.3818	0.3947	0.4284	0.4840	0.5643	0.6725
	0.4	0.8819	0.6705	0.5214	0.4257	0.3746	0.3593	0.3710	0.4027	0.4553	0.5317	0.6345
	0.5	0.8362	0.6337	0.4905	0.3981	0.3482	0.3324	0.3422	0.3712	0.4200	0.4910	0.5867
	0.6	0.7889	0.5954	0.4579	0.3686	0.3195	0.3027	0.3101	0.3356	0.3794	0.4437	0.5304
	0.7	0.7433	0.5580	0.4257	0.3390	0.2902	0.2718	0.2762	0.2974	0.3354	0.3916	0.4674
	0.8	0.7004	0.5225	0.3949	0.3104	0.2616	0.2414	0.2425	0.2590	0.2905	0.3377	0.4015
	0.9	0.6606	0.4895	0.3663	0.2838	0.2351	0.2132	0.2110	0.2227	0.2474	0.2854	0.3368
	1.0	0.6242	0.4595	0.3404	0.2603	0.2120	0.1888	0.1838	0.1910	0.2092	0.2380	0.2774

7. geometrifunktioner – Punkt B – Ytligaste punkten

Tabell 9 Punkt B – Ytligaste punkten – Geometrifunktion f_b

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.1696	0.3057	0.4110	0.4931	0.5595	0.6177	0.6753	0.7397	0.8180	0.9175	1.0450
	0.1	0.4108	0.4634	0.5071	0.5457	0.5833	0.6237	0.6710	0.7293	0.8039	0.9001	1.0234
	0.2	0.5654	0.5710	0.5799	0.5940	0.6153	0.6456	0.6870	0.7418	0.8143	0.9091	1.0310
	0.3	0.6520	0.6378	0.6321	0.6359	0.6503	0.6765	0.7154	0.7688	0.8406	0.9355	1.0579
	0.4	0.6892	0.6734	0.6665	0.6696	0.6835	0.7095	0.7483	0.8018	0.8740	0.9699	1.0943
	0.5	0.6957	0.6874	0.6861	0.6931	0.7098	0.7376	0.7778	0.8323	0.9058	1.0034	1.1303
	0.6	0.6901	0.6892	0.6934	0.7046	0.7242	0.7541	0.7959	0.8519	0.9270	1.0265	1.1560
	0.7	0.6873	0.6869	0.6916	0.7033	0.7236	0.7542	0.7970	0.8543	0.9308	1.0318	1.1628
	0.8	0.6877	0.6830	0.6845	0.6937	0.7123	0.7418	0.7839	0.8408	0.9170	1.0174	1.1472
	0.9	0.6878	0.6785	0.6759	0.6815	0.6967	0.7229	0.7618	0.8152	0.8874	0.9831	1.1071
	1.0	0.6841	0.6744	0.6700	0.6723	0.6831	0.7036	0.7356	0.7809	0.8438	0.9286	1.0400

Tabell 10 Punkt B – Ytligaste punkten – Geometrifunktion f_0

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.2311	0.4109	0.5589	0.6893	0.8158	0.9524	1.1130	1.3126	1.5697	1.9039	2.3350
	0.1	0.4115	0.5240	0.6258	0.7266	0.8358	0.9630	1.1178	1.3113	1.5611	1.8859	2.3049
	0.2	0.5369	0.6047	0.6756	0.7566	0.8544	0.9757	1.1276	1.3187	1.5658	1.8879	2.3037
	0.3	0.6172	0.6583	0.7104	0.7791	0.8697	0.9874	1.1377	1.3282	1.5756	1.8987	2.3167
	0.4	0.6625	0.6901	0.7323	0.7939	0.8798	0.9947	1.1436	1.3337	1.5819	1.9075	2.3296
	0.5	0.6824	0.7056	0.7434	0.8007	0.8827	0.9943	1.1405	1.3289	1.5765	1.9029	2.3276
	0.6	0.6870	0.7101	0.7457	0.7993	0.8765	0.9829	1.1239	1.3075	1.5510	1.8740	2.2963
	0.7	0.6850	0.7084	0.7414	0.7901	0.8606	0.9588	1.0911	1.2656	1.4996	1.8127	2.2244
	0.8	0.6806	0.7037	0.7335	0.7764	0.8387	0.9269	1.0473	1.2085	1.4273	1.7227	2.1135
	0.9	0.6769	0.6987	0.7250	0.7620	0.8161	0.8933	0.9999	1.1441	1.3417	1.6107	1.9689
	1.0	0.6770	0.6958	0.7187	0.7510	0.7978	0.8645	0.9562	1.0801	1.2505	1.4835	1.7954

Tabell 11 Punkt B – Ytligaste punkten – Geometrifunktion f_1

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.2671	0.4276	0.5627	0.6815	0.7929	0.9057	1.0291	1.1722	1.3465	1.5634	1.8347
	0.1	0.4316	0.5365	0.6316	0.7230	0.8166	0.9184	1.0345	1.1716	1.3395	1.5489	1.8105
	0.2	0.5447	0.6112	0.6790	0.7521	0.8344	0.9297	1.0422	1.1766	1.3422	1.5492	1.8078
	0.3	0.6162	0.6579	0.7082	0.7698	0.8452	0.9372	1.0481	1.1821	1.3478	1.5555	1.8153
	0.4	0.6563	0.6830	0.7226	0.7771	0.8483	0.9382	1.0485	1.1826	1.3493	1.5590	1.8220
	0.5	0.6749	0.6928	0.7256	0.7751	0.8428	0.9303	1.0393	1.1728	1.3400	1.5511	1.8168
	0.6	0.6822	0.6937	0.7207	0.7647	0.8277	0.9111	1.0166	1.1475	1.3128	1.5230	1.7885
	0.7	0.6863	0.6911	0.7109	0.7476	0.8031	0.8794	0.9784	1.1034	1.2633	1.4682	1.7285
	0.8	0.6884	0.6868	0.6990	0.7272	0.7736	0.8404	0.9299	1.0455	1.1956	1.3900	1.6381
	0.9	0.6879	0.6816	0.6874	0.7075	0.7444	0.8006	0.8782	0.9810	1.1165	1.2937	1.5213
	1.0	0.6842	0.6766	0.6786	0.6927	0.7211	0.7663	0.8304	0.9169	1.0325	1.1849	1.3819

Tabell 12 Punkt B – Ytligaste punkten – Geometrifunktion f_2

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.2965	0.4420	0.5624	0.6648	0.7565	0.8446	0.9363	1.0393	1.1642	1.3221	1.5240
	0.1	0.4447	0.5459	0.6325	0.7100	0.7838	0.8595	0.9425	1.0390	1.1581	1.3097	1.5037
	0.2	0.5453	0.6143	0.6773	0.7382	0.8011	0.8700	0.9488	1.0424	1.1593	1.3088	1.5003
	0.3	0.6081	0.6543	0.7013	0.7518	0.8085	0.8742	0.9517	1.0449	1.1619	1.3121	1.5048
	0.4	0.6428	0.6730	0.7091	0.7528	0.8059	0.8704	0.9480	1.0418	1.1600	1.3122	1.5077
	0.5	0.6593	0.6774	0.7051	0.7434	0.7936	0.8568	0.9342	1.0284	1.1476	1.3016	1.5000
	0.6	0.6672	0.6746	0.6938	0.7258	0.7715	0.8315	0.9069	1.0000	1.1188	1.2731	1.4723
	0.7	0.6743	0.6703	0.6794	0.7025	0.7405	0.7943	0.8646	0.9538	1.0696	1.2211	1.4176
	0.8	0.6804	0.6656	0.6642	0.6771	0.7055	0.7503	0.8127	0.8949	1.0040	1.1486	1.3369
	0.9	0.6831	0.6604	0.6501	0.6536	0.6719	0.7065	0.7585	0.8302	0.9282	1.0601	1.2335
	1.0	0.6803	0.6546	0.6393	0.6359	0.6455	0.6694	0.7091	0.7666	0.8481	0.9605	1.1107

Tabell 13 Punkt B – Ytligaste punkten – Geometrifunktion f_3

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.3287	0.4565	0.5588	0.6421	0.7128	0.7774	0.8425	0.9149	1.0044	1.1209	1.2747
	0.1	0.4614	0.5550	0.6293	0.6900	0.7431	0.7942	0.8493	0.9148	0.9988	1.1105	1.2585
	0.2	0.5500	0.6173	0.6715	0.7174	0.7600	0.8042	0.8547	0.9170	0.9991	1.1091	1.2557
	0.3	0.6041	0.6509	0.6908	0.7274	0.7646	0.8061	0.8556	0.9176	0.9998	1.1107	1.2586
	0.4	0.6330	0.6635	0.6926	0.7232	0.7577	0.7988	0.8491	0.9122	0.9958	1.1087	1.2595
	0.5	0.6463	0.6626	0.6825	0.7078	0.7401	0.7811	0.8323	0.8967	0.9819	1.0968	1.2505
	0.6	0.6535	0.6559	0.6659	0.6846	0.7128	0.7517	0.8023	0.8668	0.9527	1.0688	1.2238
	0.7	0.6619	0.6496	0.6476	0.6566	0.6774	0.7109	0.7578	0.8202	0.9050	1.0201	1.1736
	0.8	0.6703	0.6442	0.6297	0.6276	0.6387	0.6641	0.7046	0.7620	0.8425	0.9531	1.1009
	0.9	0.6755	0.6388	0.6138	0.6013	0.6025	0.6184	0.6499	0.6990	0.7710	0.8721	1.0085
	1.0	0.6742	0.6325	0.6013	0.5816	0.5744	0.5806	0.6012	0.6380	0.6960	0.7812	0.8994

Tabell 14 Punkt B – Ytligaste punkten – Geometrifunktion f_4

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.3653	0.4711	0.5525	0.6154	0.6658	0.7099	0.7535	0.8034	0.8681	0.9566	1.0783
	0.1	0.4840	0.5645	0.6228	0.6653	0.6983	0.7281	0.7610	0.8034	0.8631	0.9479	1.0655
	0.2	0.5614	0.6208	0.6624	0.6919	0.7151	0.7378	0.7657	0.8050	0.8627	0.9464	1.0635
	0.3	0.6067	0.6482	0.6773	0.6989	0.7175	0.7380	0.7652	0.8043	0.8623	0.9469	1.0656
	0.4	0.6293	0.6549	0.6740	0.6903	0.7073	0.7283	0.7570	0.7975	0.8572	0.9438	1.0653
	0.5	0.6387	0.6489	0.6587	0.6702	0.6859	0.7079	0.7385	0.7811	0.8427	0.9316	1.0559
	0.6	0.6441	0.6386	0.6376	0.6425	0.6549	0.6760	0.7072	0.7511	0.8144	0.9050	1.0308
	0.7	0.6528	0.6302	0.6160	0.6112	0.6166	0.6333	0.6624	0.7056	0.7692	0.8600	0.9850
	0.8	0.6627	0.6240	0.5960	0.5797	0.5759	0.5856	0.6096	0.6496	0.7107	0.7988	0.9195
	0.9	0.6698	0.6182	0.5786	0.5517	0.5384	0.5397	0.5563	0.5898	0.6445	0.7252	0.8371
	1.0	0.6699	0.6114	0.5648	0.5307	0.5098	0.5026	0.5098	0.5328	0.5756	0.6432	0.7402

Tabell 15 Punkt B – Ytligaste punkten – Geometrifunktion f_5

		a/R										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
a/b	0.0	0.4056	0.4857	0.5441	0.5865	0.6184	0.6453	0.6727	0.7066	0.7546	0.8246	0.9247
	0.1	0.5121	0.5740	0.6138	0.6378	0.6525	0.6646	0.6806	0.7069	0.7503	0.8172	0.9145
	0.2	0.5788	0.6246	0.6507	0.6633	0.6690	0.6740	0.6849	0.7080	0.7496	0.8158	0.9131
	0.3	0.6155	0.6461	0.6618	0.6678	0.6698	0.6732	0.6835	0.7065	0.7484	0.8157	0.9148
	0.4	0.6314	0.6472	0.6539	0.6558	0.6571	0.6618	0.6743	0.6991	0.7428	0.8120	0.9138
	0.5	0.6361	0.6364	0.6341	0.6320	0.6330	0.6397	0.6551	0.6825	0.7285	0.8001	0.9046
	0.6	0.6390	0.6224	0.6092	0.6011	0.5997	0.6067	0.6237	0.6534	0.7016	0.7752	0.8813
	0.7	0.6472	0.6120	0.5850	0.5673	0.5598	0.5636	0.5797	0.6099	0.6594	0.7340	0.8396
	0.8	0.6580	0.6049	0.5634	0.5343	0.5183	0.5161	0.5286	0.5571	0.6055	0.6785	0.7807
	0.9	0.6665	0.5987	0.5448	0.5053	0.4805	0.4712	0.4778	0.5012	0.5448	0.6122	0.7071
	1.0	0.6674	0.5913	0.5300	0.4836	0.4521	0.4357	0.4344	0.4489	0.4824	0.5386	0.6211



2015:03

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 315 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-mail: registrator@ssm.se
Web: stralsakerhetsmyndigheten.se