



A III –a Sesiune Științifică

CIB 2007

15 - 16 Noiembrie 2007, Brașov

O ANALIZĂ PARAMETRICĂ A PIERDERII STABILITĂȚII CĂII FĂRĂ JOANTE UTILIZÂND PROGRAMUL SCFJ

Valentin-Vasile UNGUREANU¹, Marius COMANICI²

1 UNIVERSITATEA TRANSILVANIA, BRAȘOV, vvungureanu@unitbv.ro

2 UNIVERSITATEA TRANSILVANIA, BRAȘOV, adamdosa@unitbv.ro

Abstract: This paper presents a parametrical analysis of the continuous welded rail (CWR) track buckling using the CWERRI and SCFJ programs.

Key words: track stability analysis, continuous welded rail (CWR), probabilistic calculus, temporary train speed limits

1. INTRODUCERE

În această lucrare este prezentată o analiză parametrică a pierderii stabilității căii fără joante utilizând programul SCFJ [9] și se face o analiză comparativă a rezultatelor analizei parametrice efectuate cu acest program și cu programul CWERRI. Programul SCFJ (**S**tabilitatea **C**ăii **F**ără **J**oante) a fost dezvoltat la Facultatea de Construcții din cadrul Universității TRANSILVANIA din Brașov pentru simularea fenomenului de pierdere a stabilității căii și se bazează pe un model discret nelinier pentru analiza stabilității căii fără joante încărcate cu variații de temperatură și convoi [11], [9]. Programul CWERRI a fost dezvoltat de Universitatea Tehnologică din Delft (Olanda) la cererea Institutului European pentru Cercetări Feroviare (ERRI) în cadrul unei cercetări amplă referitoare la îmbunătățirea cunoașterii eforturilor din calea fără joante (CFJ), inclusiv aparatele de cale [12], efectuată pentru Uniunea Internațională a Căilor Ferate (UIC) cu scopul de a se revizui și actualiza Fișa UIC720 care reglementa problemele referitoare la realizarea și întreținerea căii fără joante [13].

2. DATE INIȚIALE

Pentru analiză s-au folosit aceleași date inițiale ca în studiile comparative ale programelor CWERRI și CWR-BUCKLE prezentate în [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Programul CWR-BUCKLE a fost dezvoltat de compania Foster&Miller pentru Administrația Feroviară din Statele Unite ale Americii (FRA) cu scopul de a analiza stabilitatea căii fără joante (CFJ) și evaluarea siguranței la șerpuire (CFJ).

Astfel, s-a considerat o porțiune $L=47,5$ m din zona centrală a unei linii cu CFJ situată în curbă cu raza $R=400$ m, care are la mijlocul ei un defect de direcție, ce are forma unei jumătăți de sinusoidă, cu o lungime de $\lambda = 9,144$ m și o amplitudine $\delta = 0,0381$ m (fig. VI.6). Aceste valori sunt caracteristice pentru liniile din SUA [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Calea este alcătuită din șine

AREA136 și traverse din beton pozate la o distanță între ele de 0,61 metri. Pentru prinderi se consideră o comportare liniar-elastică cu o rigiditate la rotire a șinei în prindere $R_t = 11250$ N/rad pe metru de cale. Comportamentul vertical al căii este considerat liniar-elastic, cu o rigiditate $R_z = 68900$ kN/m pe metru de cale. Rezistența longitudinală R_x a căii este considerată liniar-elastică. Rezistența laterală este trilineară cu o valoare de vârf F_p ce corespunde unei deplasări W_p și o valoare reziduală (limită) F_l pentru deplasarea W_l . Se consideră că valorile rezistenței laterale sunt funcție de încărcarea care revine traversei (fig. 1). Modelul este încărcat de un vagon pâlnie cu două boghiuri, reprezentat de patru sarcini pe osie F_z de 293 kN fiecare (fig. 2). Distanța dintre pivoții boghiurilor este 12,8 m. Distanța dintre osiile boghiului este 1,78 m. Vehiculul se consideră amplasat pe cale astfel încât mijlocul distanței dintre pivoții boghiurilor coincide cu centrul defectului de direcție. Valoarea tangentei coeficientului de frecare dintre traversă și prisma căii $\tan \Phi$ este 0,86 - aceasta fiind o valoare medie pentru traversele din beton.

3. REZULTATELE OBTINUTE ȘI ANALIZA ACESTORA

În analiza realizată s-a plecat de la creșterile temperaturilor critice superioară T_{max} , respectiv inferioară T_{min} , ce rezultă din curba deplasării laterale la mijlocul porțiunii de CFJ în funcție de creșterea de temperatură. Acestea s-au obținut variind fiecare parametru într-un interval, în timp ce ceilalți parametri sunt menținuți constanți, așa cum se prezintă în Tabelul 1. Se consideră că în poziția inițială calea este liberă de eforturi.

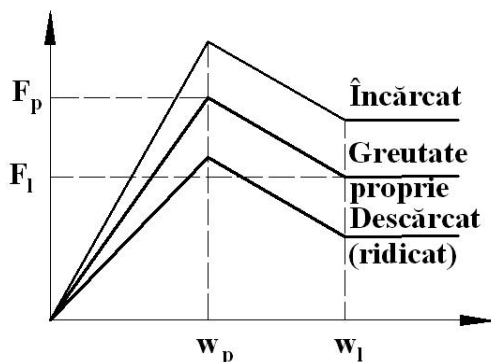


Fig. 1 Comportamentul lateral al prismeii căii incluzând corecția din încărcările verticale [6], [7], [8]

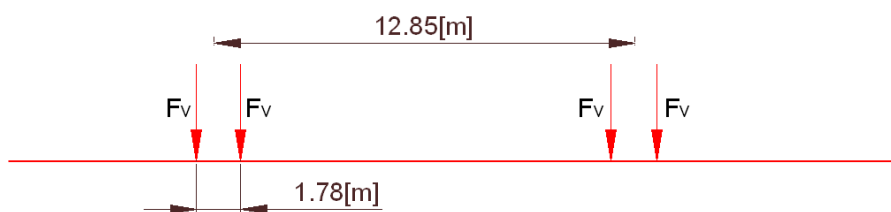


Fig. 2 Încărcările verticale pe osie aplicate căii [6], [7], [8]

Tabelul 1 Parametrii modelului pentru analizele de sensibilitate [6], [7], [8]

Parametru	Valoare de referință	Domeniu
Raza (R) [m]	400	$100 \div \infty$
Rezistența laterală de vârf (F_p) [N/m cale]	17508	$8754 \div 26262$
Rez. laterală reziduală (limită) (F_l) [N/m cale]	9630	$4815 \div 14445$
Rigiditatea longitudinală (R_x) [N/m/m cale]	$1,378 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^5 \div 1,0 \cdot 10^7$
Rigiditatea torsională (R_t) [Nm/rad/m cale]	$1,1125 \cdot 10^5$	$0,0 \div 3,0 \cdot 10^6$
Amplit. defectului de direcție (δ) [m]	0,0381	$0,008 \div 0,05$

Lung. de undă a defectului de direcție (λ)	[m]	9,144	1,2 ÷ 9,6
--	-----	-------	-----------

În figurile 3 - 14 sunt prezentate, pentru fiecare dintre cazurile analizate, rezultatele comparative ale SCFJ și CWERRI, precum și diagramele creștere de temperatură – deplasare, obținute la rularea SCFJ, iar în tabelele 2 – 7 sunt prezentate rezultatele analizei pentru aceleași cazuri. În figuri s-au notat cu $T_{\min A}$ și $T_{\max A}$ creșterile temperaturilor critice minime, respectiv maxime rezultate din CWERRI, iar cu $T_{\min B}$ și $T_{\max B}$ creșterile temperaturilor critice minime, respectiv maxime rezultate din SCFJ.

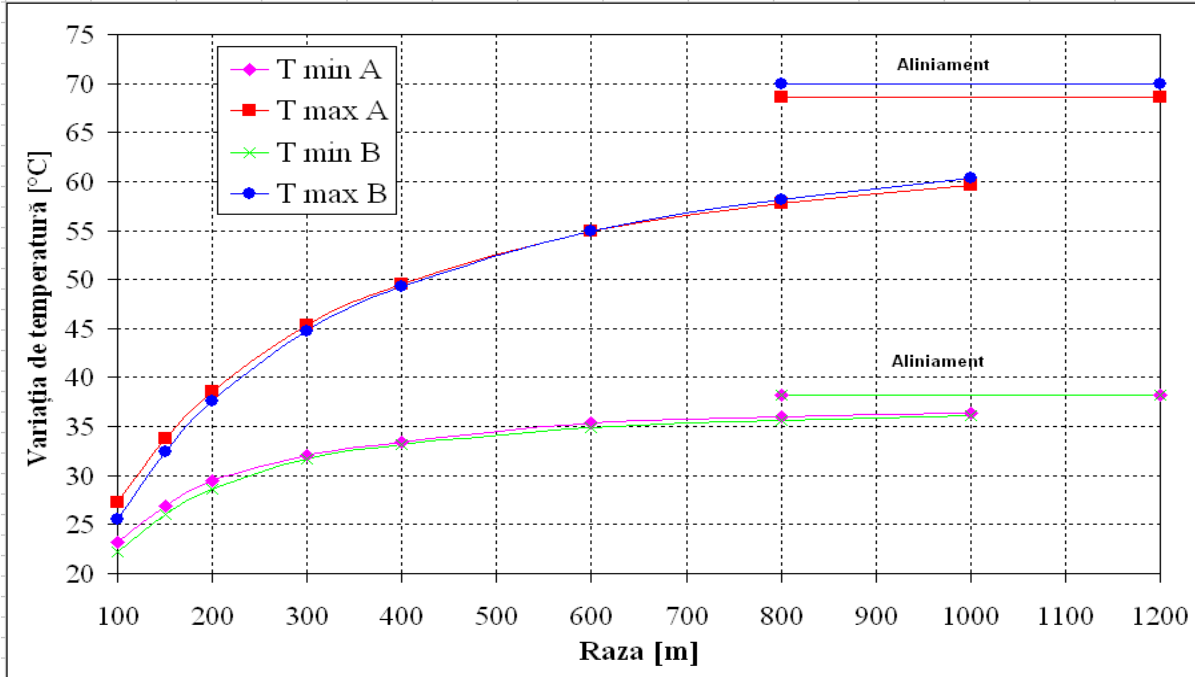


Fig. 3 Creșterile temperaturilor critice în funcție de rază [1], [6], [7], [8]

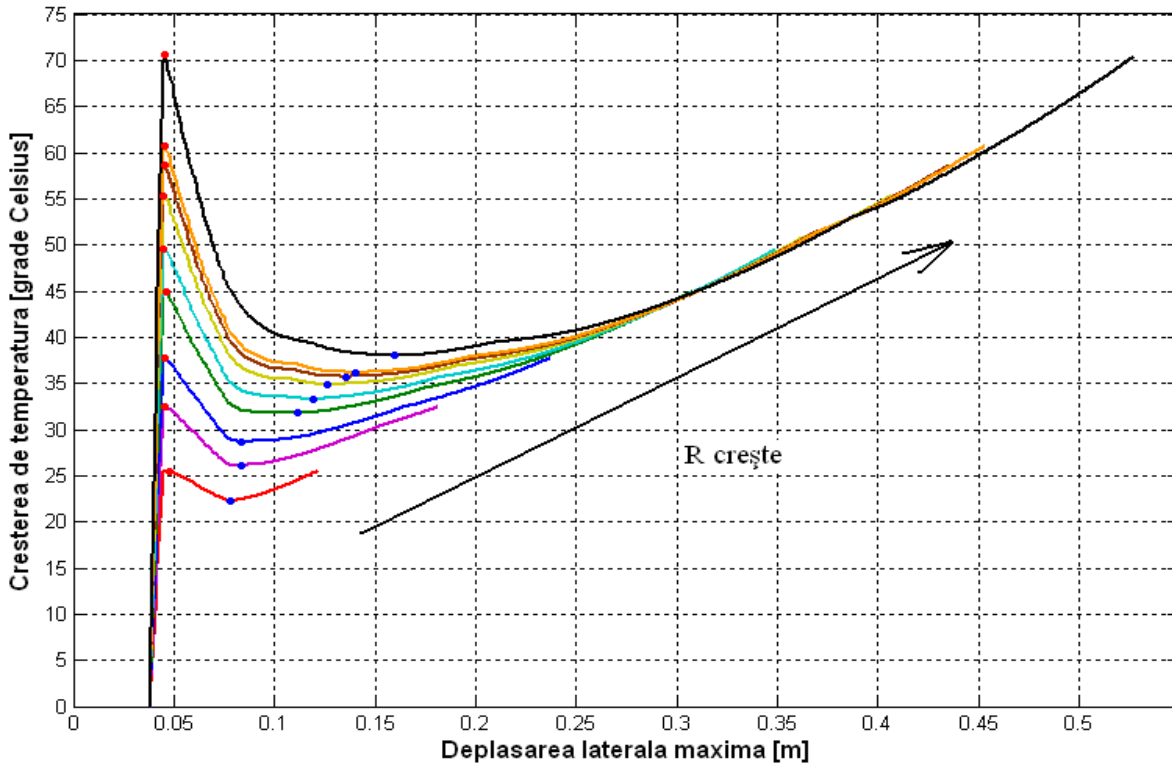


Fig. 4 Curbele creștere de temperatură – deplasare laterală pentru diverse mărimi R ale razelor analizate [1]

Se constată că pentru creșterile temperaturilor critice în funcție de rază (fig. 3), diferențele între rezultatele SCFJ și CWERRI sunt de maxim 7%, diferențele cele mai mari corespunzând celor mai mici valori ale razelor.

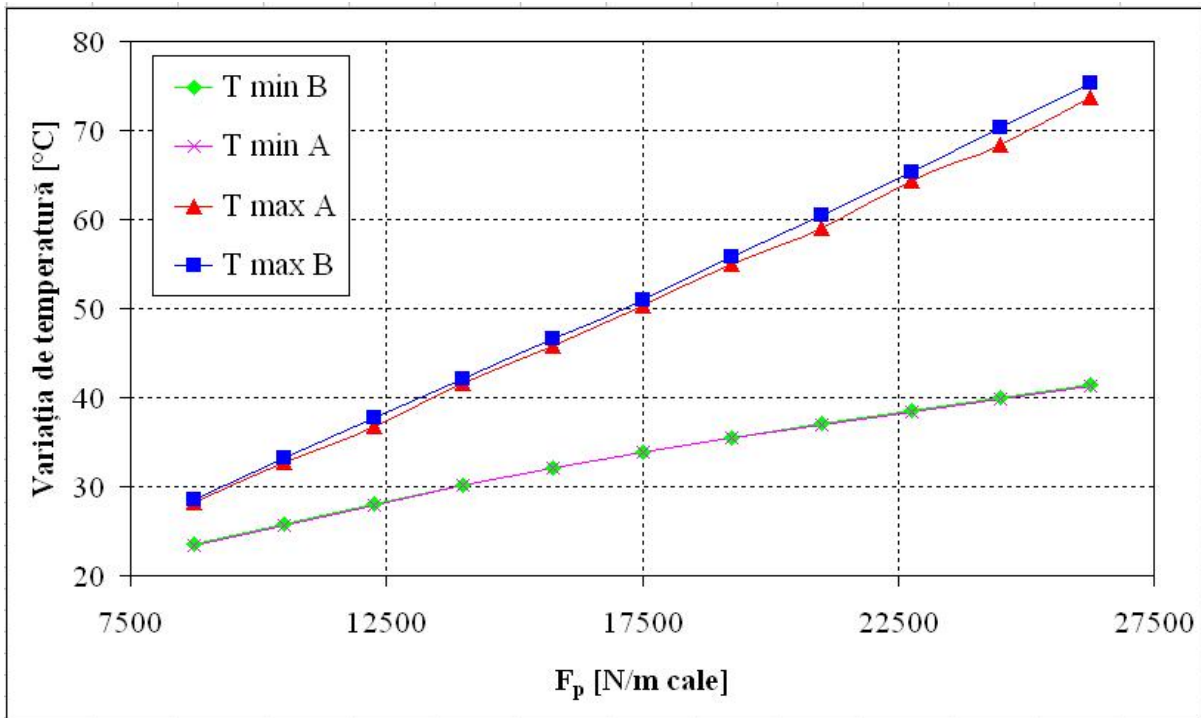


Fig. 5 Creșterile temperaturilor critice în funcție de rezistența laterală de vârf [1] , [6], [7], [8]

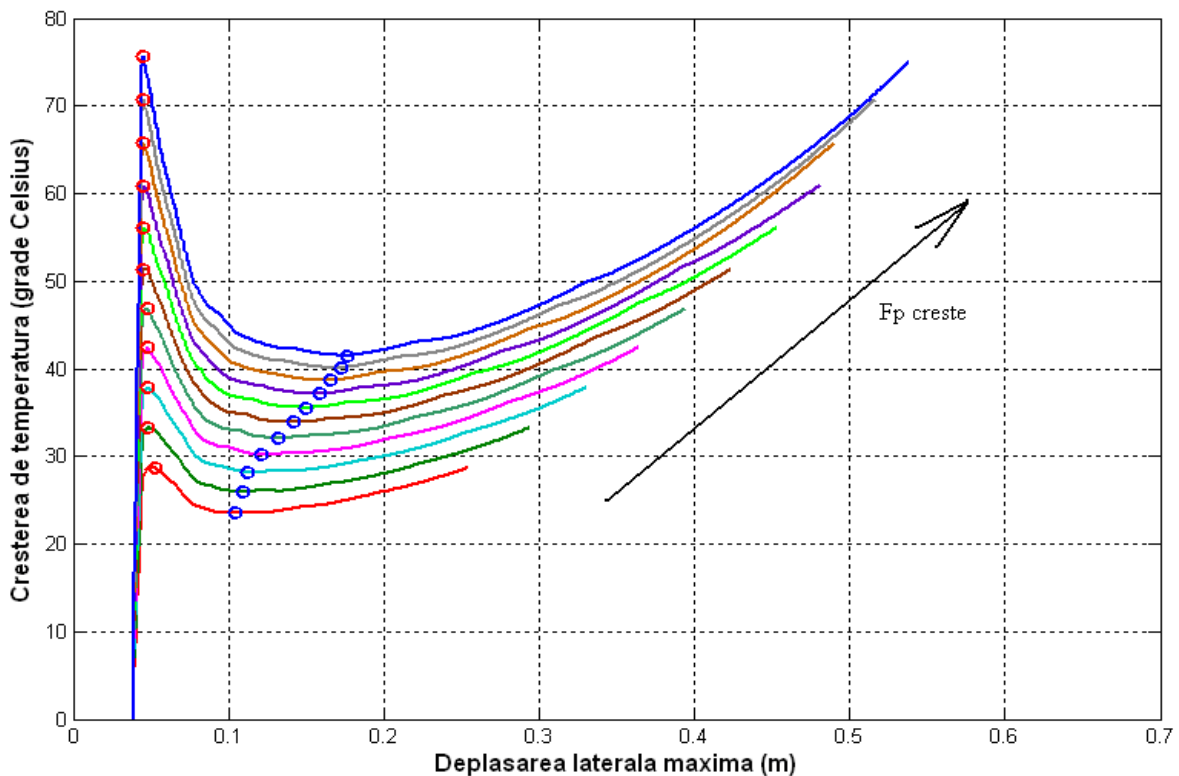


Fig. 6 Curbele creștere de temperatură – deplasare laterală pentru diverse mărimi F_p ale rezistențelor laterale de vârf analizate [1]

Diferențele între rezultatele SCFJ și CWERRI pentru creșterile temperaturilor critice în funcție de rezistența laterală de vârf (fig. 5), sunt de maxim 2,6% și au fost obținute considerând calea solicitată numai cu variație de temperatură, deci în absența încărcărilor verticale din convoi.

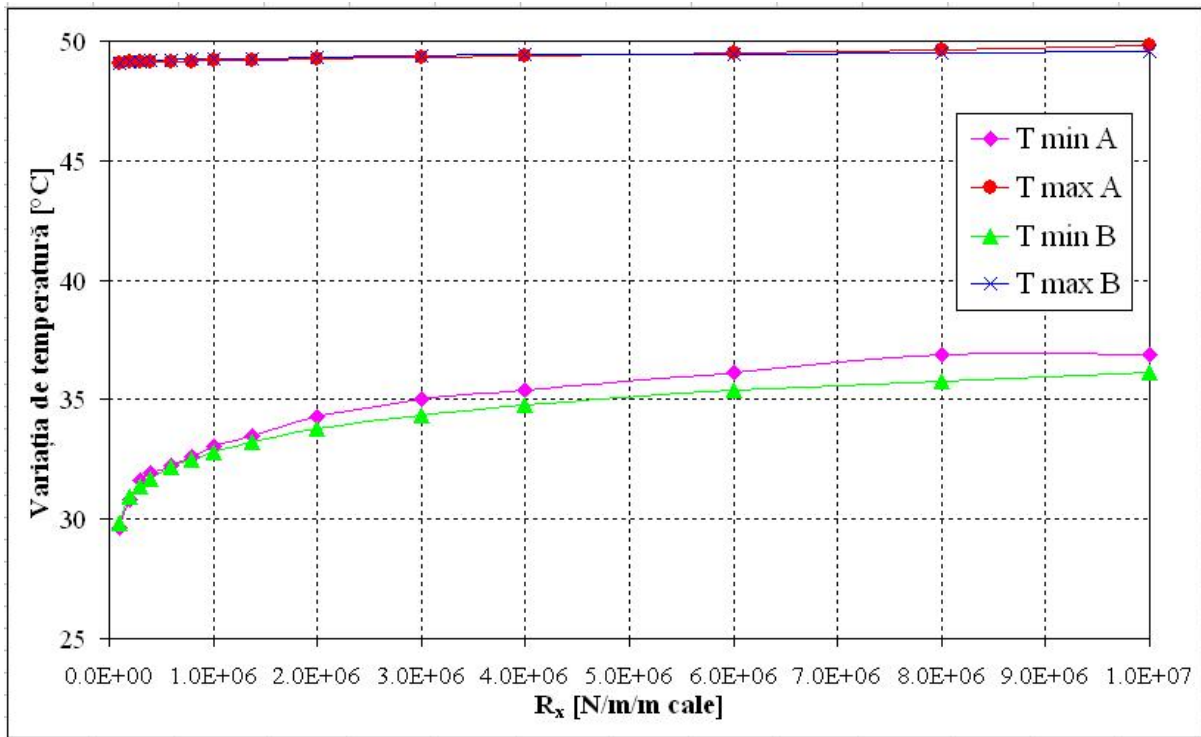


Fig. 7 Creșterile temperaturilor critice în funcție de rezistența longitudinală [1], [6], [7], [8]

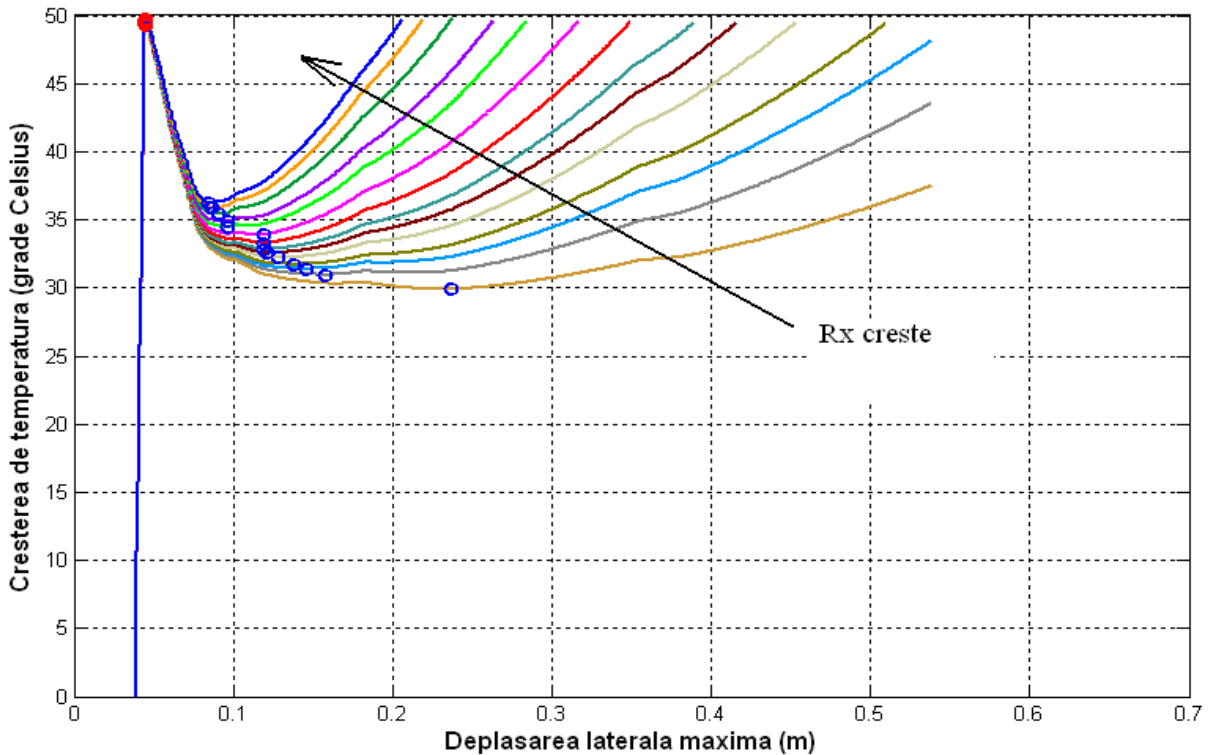


Fig. 8 Curbele creștere de temperatură – deplasare laterală pentru diverse mărimi R_x ale rezistențelor longitudinale analizate [1]

Pentru creșterile temperaturilor critice în funcție de rezistența longitudinală (fig. 7) au rezultat diferențe de maxim 3% între rezultatele SCFJ și CWERRI.

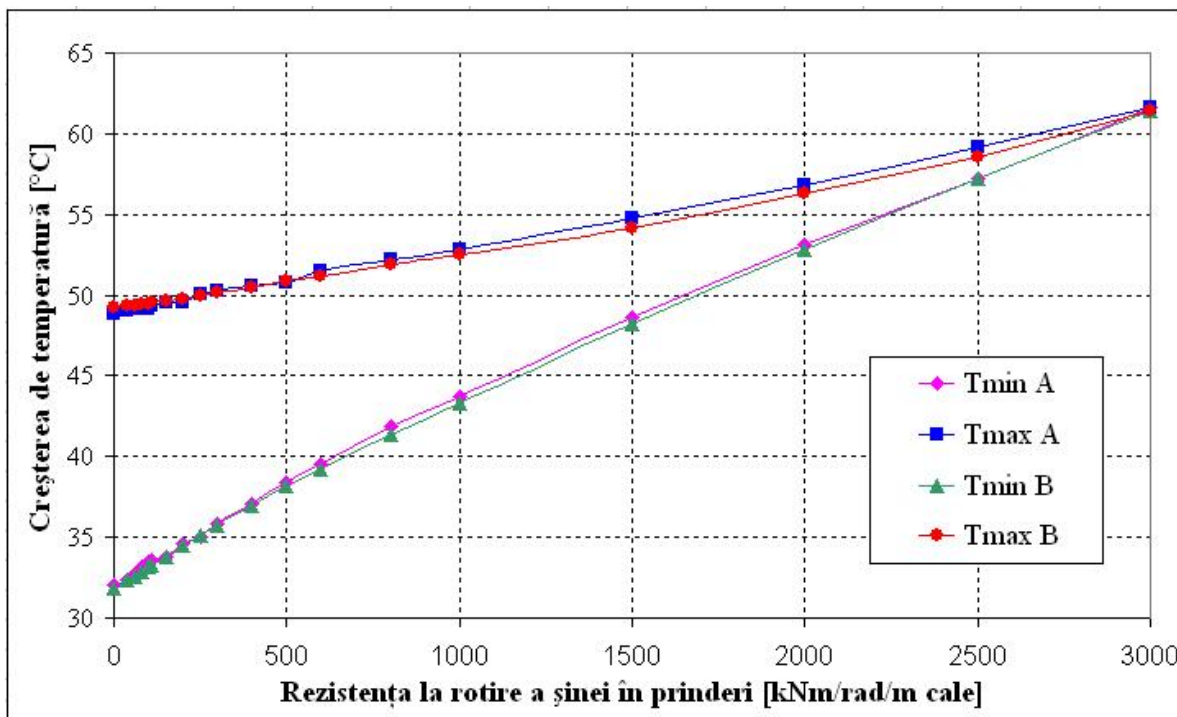


Fig. 9 Creșteri de temperatură critică în funcție de rezistența la rotire a șinei în prindere [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

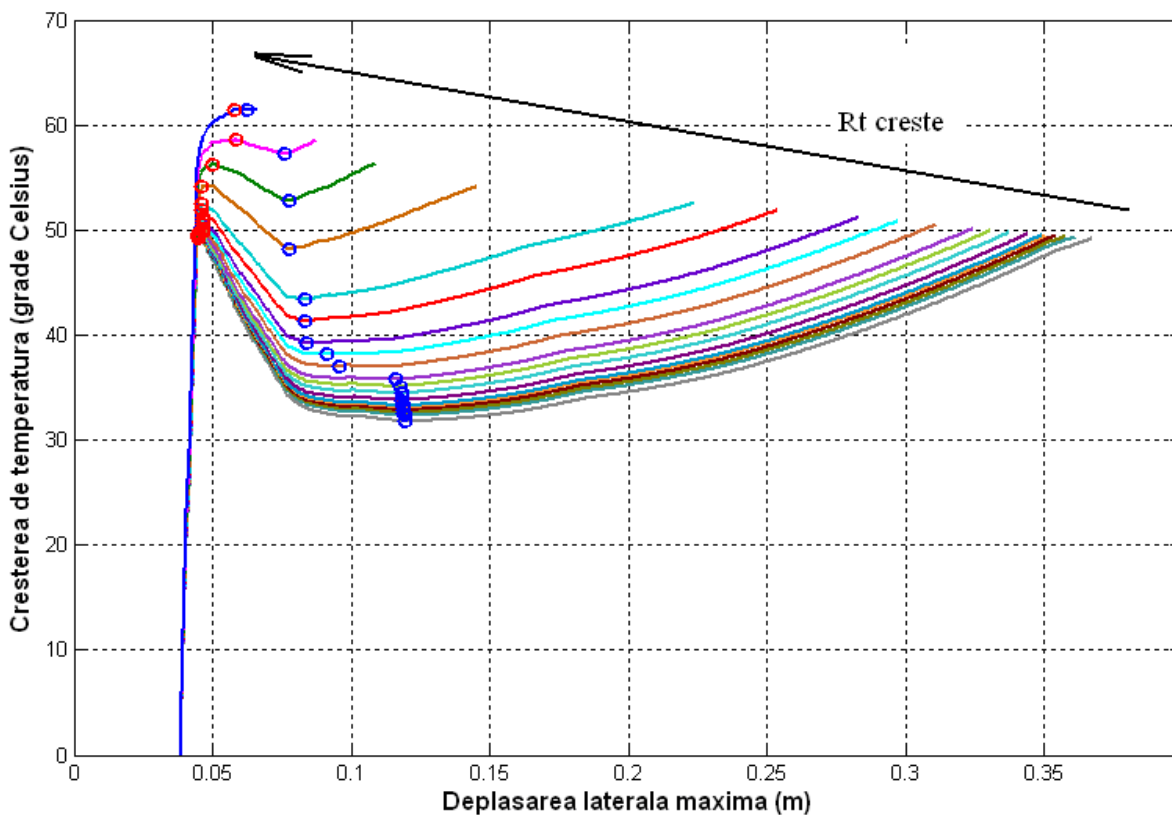


Fig. 10 Curbele creștere de temperatură – deplasare laterală pentru diverse mărimi R_t ale rezistențelor la rotirea șinei în prinderi analizate [1]

Analizând diferențele între rezultatele SCFJ și CWERRI pentru creșterile temperaturilor critice în funcție de rezistența la rotirea a șinei în prinderi (fig. 9), se constată că valoarea maximă a acestora este de 1,7%.

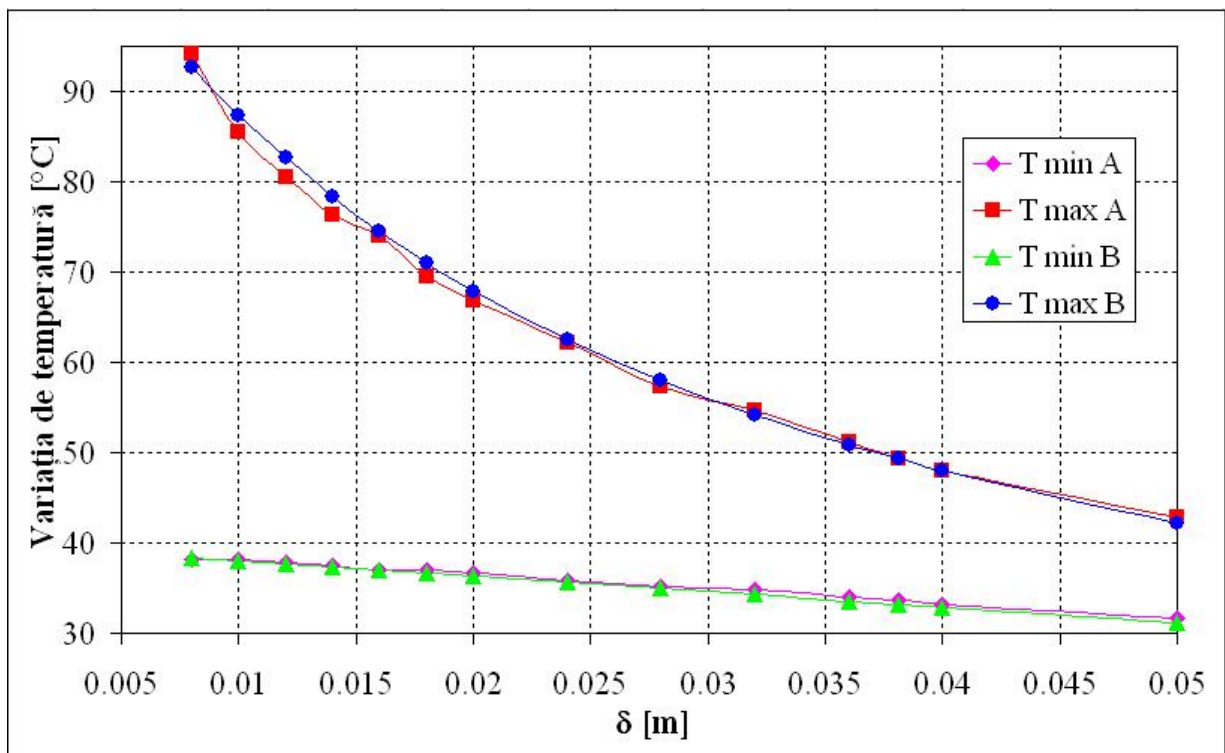


Fig. 11 Creșterile temperaturilor critice în funcție de amplitudinea defectului de direcție inițial [1], [6], [7], [8]

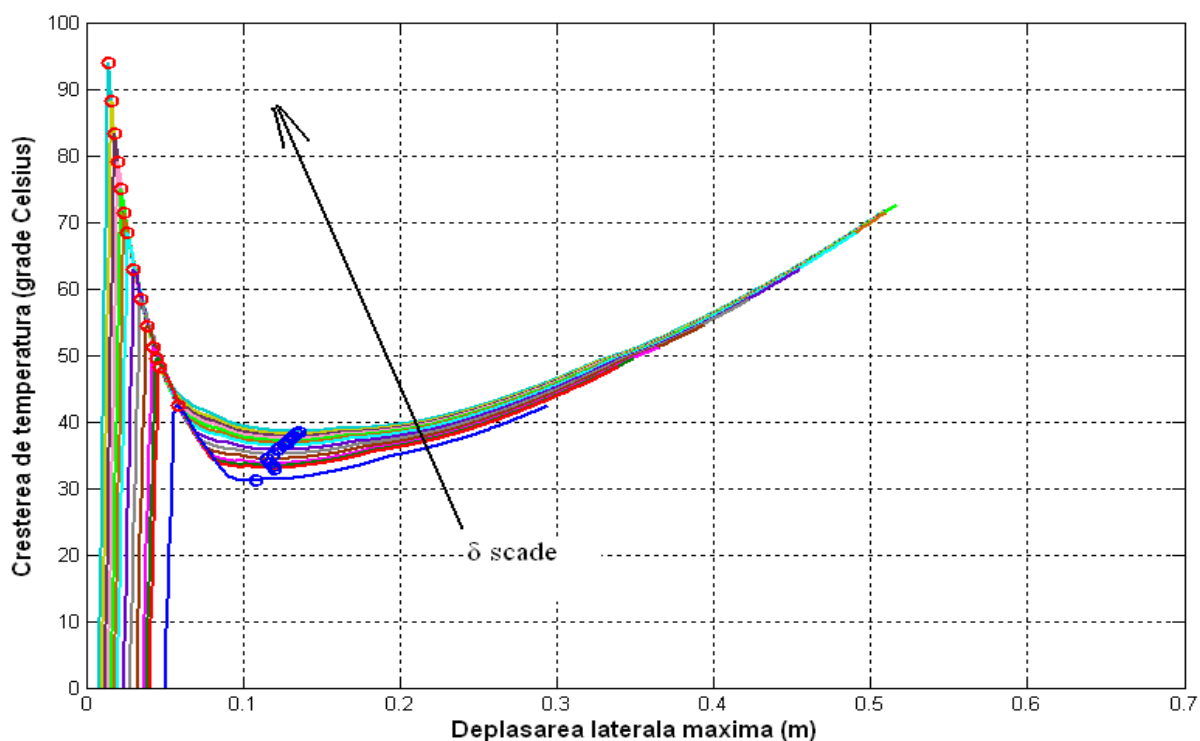


Fig. 12 Curbele creștere de temperatură – deplasare laterală pentru diverse mărimi δ ale amplitudinilor defectelor de direcție analizate [1]

În ceea ce privește amplitudinea defectelor de direcție, diferențele între rezultatele SCFJ și CWERRI, pentru creșterile temperaturilor critice (fig. 11), au valoarea maximă de 2,7%.

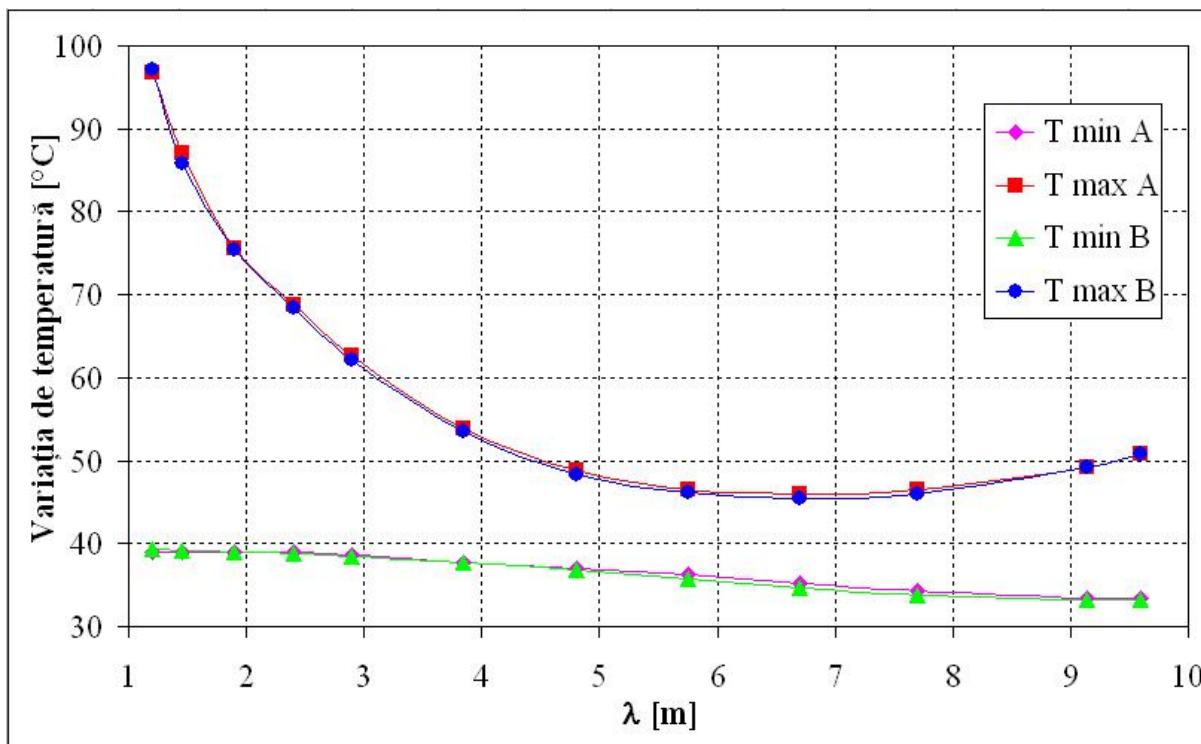


Fig. 13 Creșterile temperaturilor critice în funcție de lungimea defectului de direcție inițial [1], [6], [7], [8]

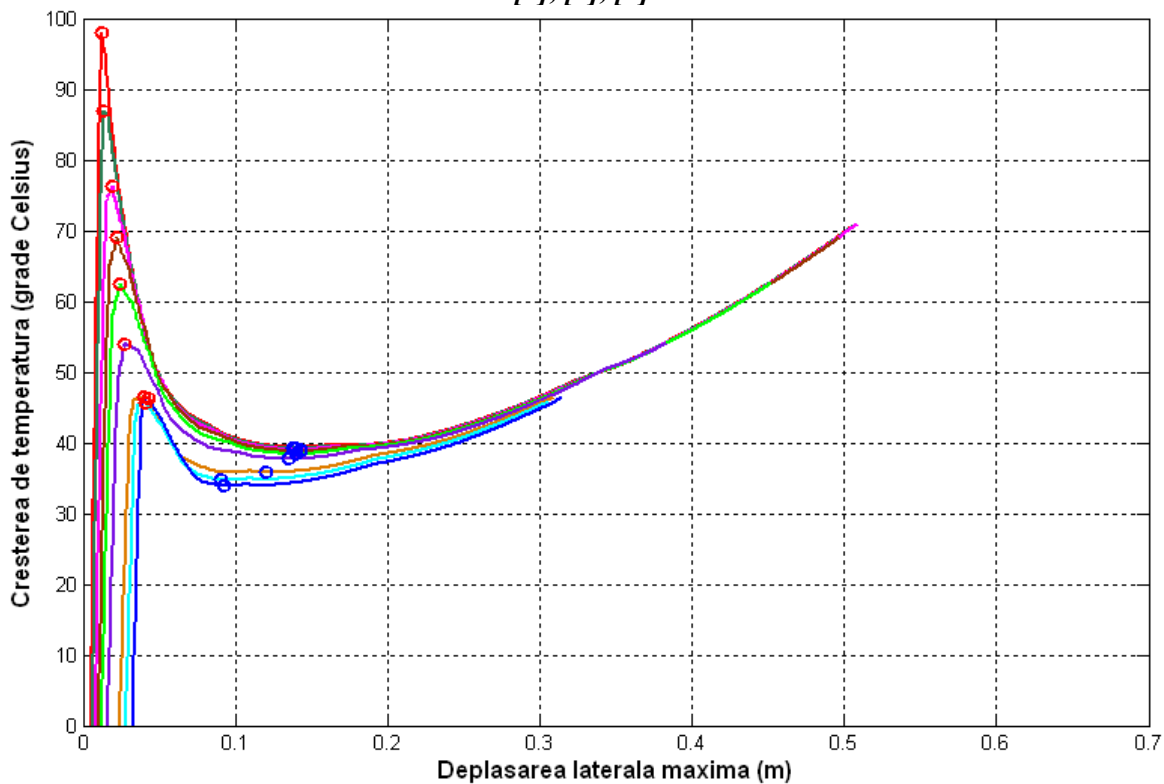


Fig. 14 Curbele creștere de temperatură – deplasare laterală pentru diverse mărimi λ ale lungimilor defectelor de direcție analizate [1]

În sfârșit, se constată că pentru creșterile temperaturilor critice în funcție de lungimea defectului de direcție inițial (fig. 13), considerând că amplitudinea defectului de direcție este a 240-a parte din lungimea defectului de direcție inițial, diferențele între rezultatele SCFJ și CWERRI sunt de maxim 1,9%.

Tabelul 2 Creșterile critice de temperatură și diferența între ele rezultate din rularea programelor CWERRI și SCFJ pentru diverse mărimi δ ale amplitudinilor defectelor de direcție

δ [m]	CWERRI		SCFJ		Diferența	
	T_{min} [°C]	T_{max} [°C]	T_{min} [°C]	T_{max} [°C]	T_{min} [°C]	T_{max} [°C]
0.008	38.1658	94.1706	38.2773	92.6446	-0.2913	1.6472
0.01	38.1466	85.4773	37.9625	87.2683	0.4850	-2.0523
0.012	37.7551	80.4397	37.6507	82.6759	0.2773	-2.7048
0.014	37.4251	76.309	37.3318	78.3116	0.2499	-2.5572
0.016	37.0561	74.0689	37.0129	74.471	0.1167	-0.5399
0.018	36.9329	69.4407	36.6912	71.0375	0.6587	-2.2478
0.02	36.7278	66.8295	36.3639	67.8935	1.0007	-1.5672
0.024	35.7921	62.1725	35.6933	62.5018	0.2768	-0.5269
0.028	35.0853	57.2693	35.0014	58.005	0.2397	-1.2683
0.032	34.7656	54.6278	34.288	54.1788	1.3929	0.8287
0.036	34.054	51.1909	33.5722	50.8588	1.4351	0.6530
0.0381	33.6959	49.2704	33.2103	49.2836	1.4622	-0.0268
0.04	33.1657	48.0719	32.8909	47.9477	0.8355	0.2590
0.05	31.6715	42.7583	31.1006	42.2403	1.8357	1.2263

Tabelul 3 Creșterile critice de temperatură și diferența între ele rezultate din rularea programelor CWERRI și SCFJ pentru diverse mărimi R_t ale rezistențelor la rotirea șinei în prinderi [1]

R _t [Nm/rad/m cale]	CWERRI		SCFJ		Diferenta	
	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]
0	32.0778	48.8147	31.7271	48.9719	1.1054	-0.3210
40000	32.3683	49.0813	32.2617	49.0842	0.3304	-0.0059
60000	32.7643	49.0944	32.5288	49.1403	0.7240	-0.0934
80000	33.1602	49.1083	32.7951	49.1963	1.1133	-0.1789
100000	33.5166	49.1428	33.0607	49.2522	1.3790	-0.2221
111250	33.5958	49.2989	33.2103	49.2836	1.1608	0.0310
150000	33.8254	49.558	33.723	49.3917	0.3037	0.3367
200000	34.6306	49.5604	34.3817	49.5523	0.7239	0.0163
250000	34.9973	50.0152	35.0377	49.7333	-0.1153	0.5668
300000	35.8683	50.2524	35.6888	49.9129	0.5030	0.6802
400000	37.091	50.5703	36.9196	50.2673	0.4643	0.6028
500000	38.4162	50.7606	38.0752	50.6169	0.8956	0.2839
600000	39.5376	51.4697	39.1365	50.9608	1.0249	0.9986
800000	41.8822	52.2171	41.1888	51.6356	1.6835	1.1262
1000000	43.7171	52.7886	43.2171	52.2932	1.1569	0.9474
1500000	48.6611	54.7529	48.0795	53.8929	1.2097	1.5958
2000000	53.1304	56.7974	52.6211	56.0492	0.9679	1.3349
2500000	57.222	59.1488	57.0427	58.3308	0.3143	1.4023
3000000	61.5757	61.5757	61.1869	61.1896	0.6354	0.6310

Tabelul 4 Creșterile critice de temperatură și diferența între ele rezultate din rularea programelor CWERRI și SCFJ pentru diverse mărimi R ale razelor [1]

R [m]	CWERRI		SCFJ		Diferenta	
	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]
100	23.2572	27.2438	22.2199	25.4845	4.6683	6.9034
150	26.9175	33.7394	25.9722	32.413	3.6397	4.0922
200	29.4374	38.5887	28.5608	37.6108	3.0692	2.6001
300	32.0294	45.3898	31.7055	44.7132	1.0216	1.5132
400	33.4343	49.5247	33.2103	49.2836	0.6745	0.4892
600	35.3192	54.8944	34.8408	54.9405	1.3731	-0.0839
800	35.9382	57.8333	35.6453	58.1986	0.8217	-0.6277
1000	36.3879	59.6607	36.1232	60.3175	0.7328	-1.0889
Aliniament	38.1947	68.5746	38.2085	69.9365	-0.0361	-1.9473

Tabelul 5 Creșterile critice de temperatură și diferența între ele rezultate din rularea programelor CWERRI și SCFJ pentru diverse mărimi F_p și F_l ale rezistențelor de vârf și ale rezistențelor reziduale [1]

F _p [N/m cale]	F _i [N/m cale]	CWERRI		SCFJ		Diferenta	
		T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]
8754	4815	23.3471	28.2448	23.4986	28.5966	-0.6447	-1.2302
10504.8	5778	25.7146	32.7492	25.8615	33.1550	-0.5680	-1.2239
12255.6	6741	27.9081	36.8173	28.0779	37.6824	-0.6047	-2.2958
14006.4	7704	30.1274	41.6507	30.1596	42.1495	-0.1068	-1.1834
15757.2	8667	32.0294	45.8352	32.0664	46.5689	-0.1154	-1.5755
17508	9630	33.8792	50.3929	33.8363	51.0041	0.1268	-1.1983
19258.8	10593	35.4094	54.945	35.4948	55.7380	-0.2406	-1.4227
21009.6	11556	36.8593	59.027	37.0675	60.5220	-0.5617	-2.4702
22760.4	12519	38.3496	64.3247	38.5687	65.3672	-0.5681	-1.5948
24511.2	13482	39.885	68.4444	40.0073	70.2814	-0.3057	-2.6138
26262	14445	41.37	73.6433	41.3914	75.2668	-0.0517	-2.1570

Tabelul 6 Creșterile critice de temperatură și diferența între ele rezultate din rularea programelor CWERRI și SCFJ pentru diverse mărimi λ ale lungimilor defectelor de direcție [1]

λ [m]	CWERRI		SCFJ		Diferenta	
	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]
1.2	38.9344	96.6839	39.2997	97.1365	-0.9295	-0.4659
1.45	38.9707	87.1622	39.1793	85.8633	-0.5324	1.5128
1.9	38.9707	75.6441	38.9733	75.4986	-0.0067	0.1927
2.4	39.007	68.7692	38.7689	68.4023	0.6142	0.5364
2.9	38.5349	62.6848	38.4192	62.0729	0.3012	0.9858
3.85	37.749	53.8963	37.6999	53.5774	0.1302	0.5952
4.8	37.016	48.8632	36.7802	48.3134	0.6411	1.1380
5.75	36.2611	46.5881	35.7292	46.1738	1.4887	0.8973
6.7	35.1911	45.8955	34.5814	45.428	1.7631	1.0291
7.7	34.3666	46.6012	33.7391	46.0128	1.8599	1.2788
9.144	33.4495	49.262	33.2103	49.2836	0.7203	-0.0438
9.6	33.4447	50.8192	33.1435	50.7495	0.9088	0.1373

Tabelul 7 Creșterile critice de temperatură și diferența între ele rezultate din rularea programelor CWERRI și SCFJ pentru diverse mărimi R_x ale rezistențelor longitudinale [1]

R _x [N/m/m cale]	CWERRI		SCFJ		Diferenta	
	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{max} [°C]
1.00E+05	29.6164	49.1001	29.8429	49.0982	-0.7590	0.0039
2.00E+05	30.7988	49.1145	30.9132	49.131	-0.3701	-0.0336
3.00E+05	31.6114	49.1208	31.3561	49.155	0.8142	-0.0696
4.00E+05	31.9116	49.1282	31.6807	49.1744	0.7288	-0.0940
6.00E+05	32.2104	49.1413	32.1509	49.2054	0.1851	-0.1303
8.00E+05	32.6272	49.1555	32.4923	49.2302	0.4152	-0.1517
1.00E+06	33.059	49.1696	32.7668	49.2511	0.8918	-0.1655
1.378E+06	33.4818	49.1954	33.2103	49.2836	0.8175	-0.1790
2.00E+06	34.2959	49.2387	33.8079	49.3251	1.4434	-0.1752
3.00E+06	35.0422	49.3075	34.3658	49.3748	1.9682	-0.1363
4.00E+06	35.4263	49.3765	34.7683	49.4126	1.8925	-0.0731
6.00E+06	36.108	49.5155	35.373	49.4695	2.0779	0.0930
8.00E+06	36.8807	49.6537	35.7942	49.5122	3.0354	0.2858
1.00E+07	36.8955	49.7847	36.1183	49.5467	2.1518	0.4804

4. CONCLUZIE

În concluzie, se constată o bună concordanță între rezultatele celor două modele, deci modelul SCFJ poate fi utilizat pentru implementarea reglementărilor Fișei UIC 720R [10] în România sau în analize privind stabilitatea CFJ cu un grad de acuratețe a rezultatelor apropiat de cel al programelor similare dezvoltate la nivel mondial .

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Ungureanu, V.V., *Cercetări privind simularea pierderii stabilității căii fără joante*, Teză de doctorat, Conducător științific: prof. univ. dr. ing. Atanasie Talpoși, Universitatea "Transilvania" din Brașov, Facultatea de construcții, Catedra construcții, Brașov, 2007
- [2]. Dósa,A., Ungureanu V.V., *Studiu parametric al efectului rezistenței la rotire a șinei în prinderi asupra stabilității căii fără joante*, Zilele Academice Timișene: ediția a X-a, 24-25 mai 2007 - Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre", Editura Solness, Timișoara, 2007
- [3]. Esveld, C., *A better understanding of continuous welded rail track*, Rail Engineering International, No. 4, 1996
- [4]. Esveld, C., *Improved knowledge of CWR track*, Interactive Conference on Cost Effectiveness and Safety Aspects of Railway Track, UIC/ERRI, Paris, 8-9 December 1998
- [5]. Van, M.A., *Stability of Continuous Welded Rail Track*, Delft University Press, 1997, ISBN:90-407-1485-1
- [6]. Ungureanu, V.V., Comanici, M., *Sensitivity study of a model for the stability analysis of the continuous welded rail*, "Computational Civil Engineering 2007", International Symposium, Iași, România, May 25, 2007, Editura Societății "Matei - Teiu Botez"
- [7]. Comanici, M., *Studiu de senzitivitate a modelului SCFJ pentru stabilitatea căii fără joante*, "Zilele Academice Timișene: ediția a X-a, 24-25 mai 2007 - Simpozion: Infrastructuri eficiente pentru transporturile terestre", Editura Solness, Timișoara, 2007
- [8]. Ungureanu, V.V., *Studiu parametric pentru validarea programului SCFJ*, a XXXI-a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, 27-29 Septembrie 2007, Chișinău, Editura U.T.M.
- [9]. Dósa,A., Ungureanu V.V., *Discrete model for the stability of continuous welded rail*, "Computational Civil Engineering 2007", International Symposium, Iași, România, May 25, 2007, Editura Societății "Matei - Teiu Botez"
- [10]. ***, *UIC Leaflet UIC 720R, Laying and Maintenance of CWR Track*, 2nd edition, March 2005, Paris
- [11]. Ungureanu, V.V., *Modele de pierdere a stabilității căii fără joante*, Referatul nr.3 din cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat, Universitatea TRANSILVANIA din Brașov, Facultatea de Construcții, Brașov, 2006

- [12]. *******, *ERRI D202-RP12 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) – Final report*, European Rail Research Institute, Utrecht, February 1999
- [13]. *******, *UIC 720 R - Laying and maintenance of CWR Track*, 1st edition, Paris, January 1986