



A III –a Sesiune Științifică

CIB 2007

15 - 16 Noiembrie 2007, Brașov

ANALIZA COMPARATIVĂ A REZULTATELOR PROGRAMELOR DE SIMULARE A ȘERPUIRII CADRULUI ȘINE-TRAVERSE CWERRI, SCFJ ȘI CWR-BUCKLE

Valentin-Vasile UNGUREANU

UNIVERSITATEA TRANSILVANIA, BRAȘOV, vvungureanu@unitbv.ro

Abstract: In this paper is presented a comparison of the numerical experiment results which were achieved with SCFJ, CWERRI and CWR-BUCKLE softwares. The two analyses of CWR stability software, one developed at TU Delft (Holland) for ERRI – called initially CWERRI, and nowadays LONGSTAB – and the other, developed at Foster&Miller company, for Federal Rail Administration of United States of America (FRA) – software called CWR-BUCKLE [6], [11] are mentioned in the new Leaflet UIC 720 [10], for the introduction of concepts and criteria for the CWR buckling safety assessment. In this context, at the Civil Engineering Faculty from Brașov was developed a software for the simulation of the CWR track buckling, in presence of thermal and vehicle loads, model called SCFJ [2], [3].

Key words: Continuous welded rail (CWR) track, Non-linear stability analysis, Temperature and vehicle loadings.

1. INTRODUCERE

În 1992 Institutul European de Cercetări Feroviare (ERRI) a demarat un program pentru investigarea și înțelegerea fenomenului de șerpuire, sub codificarea D202. În acest scop în decembrie 1996 a fost finalizată o versiune preliminară a unui program de calcul care modelează și investighează pierderea stabilității cadrului șine-traverse. Acest program, denumit CWERRI, a fost dezvoltat de Universitatea Tehnologică din Delft (Olanda), și se bazează pe metoda elementelor finite [4], [5], [6].

În decembrie 1996 un grup de lucru de la Universitatea Tehnologică din Delft a fost solicitat de către ERRI să testeze programul CWERRI pentru depistarea posibilelor erori, să dezvolte interfața programului pentru o utilizare mai ușoară a acestuia, să efectueze calcule pentru o serie de situații predefinite și să stabilească concluzii referitoare la un concept de siguranță la șerpuire a căii fără joante (CFJ) [6].

Rezultatele calculului cu programul CWERRI sunt date sub formă de creșteri de temperatură peste temperatura neutră și deplasări corespunzătoare acestor creșteri de temperatură și se menționează dacă s-a produs sau nu șerpuirea cadrului șine-traverse pentru fiecare creștere de temperatură. Se consideră că pierderea stabilității cadrului șine-traverse se va produce între creșterile de temperatură critică superioară (T_{max}) și inferioară (T_{min}), depinzând de energia suplimentară externă ce este introdusă în sistem, de exemplu, prin circulația trenurilor. Energia aceasta este mai mare când variația de temperatură este în apropierea lui T_{min} decât atunci când

variația de temperatură peste temperatura neutră din șină este în apropierea lui T_{max} . Această energie poate fi calculată utilizând programul CWR-BUCKLE, program de simulare a pierderii stabilității CFJ dezvoltat de compania Foster&Miller pentru Administrația Căilor Ferate din Statele Unite ale Americii. În [5] au fost comparate cu rezultatele a două versiuni ale CWR-BUCKLE cu rezultatele CWERRI. Deși rezultatele celor două programe prezintă diferențe semnificative, au fost formulate ipoteze referitoare la conceptele de siguranță și s-au realizat analize ale siguranței la șerpuire a CFJ.

Pentru a verifica modelul românesc SCFJ (Stabilitatea Căii Fără Joante), dezvoltat la Universitatea TRANSILVANIA din Brașov, au fost comparate rezultatele programului CWERRI prezentate în [5] cu cele ale programului SCFJ. S-a constatat o foarte bună concordanță a rezultatelor.

2. STRUCTURILE DE CALE CE AU FOST ANALIZATE

Structurile de cale ce au fost analizate sunt prezentate sintetizat în cele ce urmează. Mai întâi, aceste structuri au fost clasificate în conformitate cu funcțiunile lor în cadrul rețelei de infrastructură feroviară, ca în tabelul 1 [5].

Tabelul 1 Categoriile de structuri de cale analizate [5]

1	Linie de mare viteză	Aliniament	traverse din beton
2	Linie principală	Curba cu R = 900 m	traverse din beton
3	Linie principală	Curba cu R = 900 m	traverse din lemn
4	Linie secundară	Curba cu R = 600 m	traverse din beton
5	Linie secundară	Curba cu R = 600 m	traverse din lemn
6	Linie pentru trafic de marfă	Curba cu R = 300 m	traverse din beton
7	Linie pentru trafic de marfă	Curba cu R = 300 m	traverse din lemn

Fiecare categorie de structură din Tabelul 1 a fost împărțită în trei subcategorii, depinzând de defectul de direcție, care corespund unor lungimi mici, medii sau mari. Lungimile defectelor de direcție sunt 8 m, 10 m și 12 m, iar amplitudinile defectelor de direcție diferă de la o categorie de structură la alta, așa cum se poate observa din tabelul 2 [5]. Forma defectului de direcție este o undă completă de cosinus și este aceeași pentru toate categoriile de linie. Se consideră defectul de direcție ca abatere de la geometria perfectă a liniei.

Tabelul 2 Amplitudinea și lungimea defectului de direcție [5]

Numărul categoriei de structură de cale	Amplitudinea defectului de direcție [mm]		
	Pentru lungimea defectului L = 8 m	Pentru lungimea defectului L = 10 m	Pentru lungimea defectului L = 12 m
1	8	12	16
2 și 3	10	14	18
4 și 5	14	18	22
6 și 7	14	22	30

Pentru fiecare defect de direcție, calitatea materialului din prisma căii (exprimată prin valorile rezistenței de vârf F_p și rezistenței reziduale F_l) poate fi de trei tipuri: calitate scăzută, calitate medie, calitate ridicată. Valorile rezistențelor depind de tipul traversei și exprimă forța necesară pentru a deplasa lateral prin prisma căii 1 m de panou de cale pentru o valoare predefinită ce corespunde mobilizării rezistenței de vârf ($w_p = 2$ mm sau $w_p = 5$ mm) conform tabelului 3 [5].

Influențe sistemului de prindere a șinei de traversă este caracterizată prin valoarea k_t a rezistenței la rotire a șinei în prindere. Se consideră că din acest punct de vedere prinderea este slabă sau puternică, iar valorile rezistenței la rotirea șinei în prindere k_t , pentru 1 m de cale, sunt cele din tabelul 4 [5].

Valorile tangentei unghiului de frecare φ dintre prisma căii și traversă depind de tipul traversei. Astfel, pentru traversele din lemn, aceasta are o valoare mai mare decât pentru traversele din beton, datorită faptului că granulele materialului din prisma căii pătrund în talpa mai moale a traversei din lemn.

Valorile tangentei unghiului de frecare φ sunt date în tabelul 5.

S-au considerat două valori caracteristice pentru rigiditățile resoartelor verticale ce modelează modulul de elasticitate al fundației de sub talpa șinei k_v , exprimate pe metru de cale și care depind de calitatea prismeii căii (de calitatea materialului din prisma căii și de lucrările de întreținere). De aceea pentru structurile de linie pentru viteze mari, valorile lui k_v sunt mai mari. Valorile sunt prezentate în tabelul 6.

Tabelul 3 Valorile rezistențelor reziduală F_l și de vârf F_p [5]

Tipul traversei	Calitatea prismeii căii					
	Scăzută		Medie		Ridicată	
	F_p [kN/m]	F_l [kN/m]	F_p [kN/m]	F_l [kN/m]	F_p [kN/m]	F_l [kN/m]
Din beton	10	10	15	12	20	16
Din lemn	7	7	10	10	15	12

Tabelul 4 Valorile rezistenței la rotirea șinei în prindere, pentru 1 m de cale, k_t [5]

Tipul traversei	Rezistența la rotirea șinei în prindere k_t [kNm/rad/m]	
	Prindere slabă	Prindere puternică
Din beton	75	150
Din lemn	150	250

Tabelul 5 Valorile tangentei unghiului de frecare φ dintre prisma căii și traversă [5]

Tipul traversei	Tangenta unghiului de frecare φ dintre prisma căii și traversă
Din beton	0,86
Din lemn	1,20

Tabelul 6 Valorile modulului de elasticitate al fundației de sub talpa șinei k_v [5]

Numărul categoriei de structură de cale	Rigiditatea resoartelor ce modelează modulul de elasticitate al fundației de sub talpa șinei k_v [MN/m/m]
1, 2 și 3	100
4, 5, 6 și 7	70

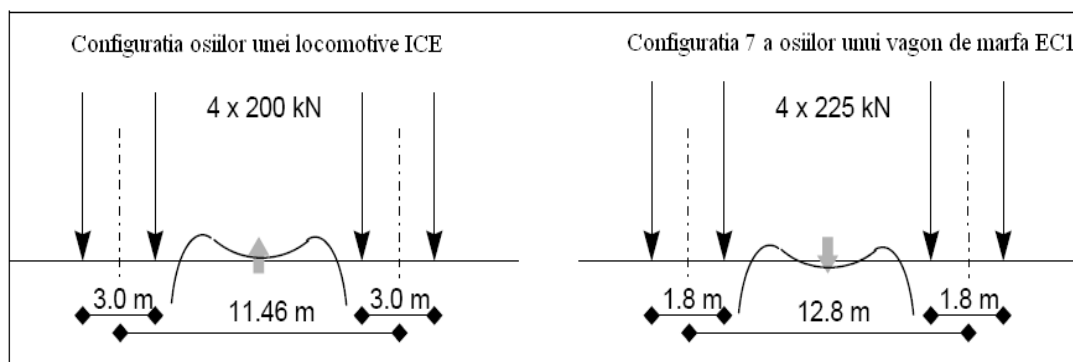


Fig. 1 Configurația osiilor vehiculelor folosite în analiza comparativă [5], [7], [9]

În final, au fost alese două tipuri de vehicule (fig. 1), în conformitate cu clasificarea structurilor de cale. Cele mai grave cazuri de șerpuire apar dacă configurația osiilor vehiculelor conduce la ridicarea cadrului șine-traverse, în conformitate cu curba de deformare statică verticală a cadrului șine-traverse, situația agravându-se atunci când zona de ridicare se suprapune cu zona pe care se află defectele de direcție. Astfel, încărcarea din vehicul influențează stabilitatea cadrului șine-traverse. Se consideră următoarele combinații ale vehiculului și structurii:

Tabelul 7 Tipurile de combinații vehicul-structură de cale [5]

Numărul categoriei de structură de cale	Tip de vehicul
1, 2 și 3	Locomotivă ICE
4, 5, 6 și 7	Configurația 7 a osiilor vehiculului EC1 (vagoane de marfă)

3. REZULTATELE RULĂRII ȘI INTERPRETAREA ACESTORA

Rezultatele rulării programelor CWERRI și SCFJ au fost codificate ca în tabelul 8 în conformitate cu anexa A din [5].

Variațiile de temperatură critice superioară și inferioară, deplasările corespunzătoare acestora, precum și variațiile de temperatură admisibile, care au rezultat din rulările programelor CWR-BUCKLE 1.05, CWR-BUCKLE 2.01, CWERRI și SCFJ și au fost calculate folosind criteriile de siguranță din [7], [8], [9], [10], sunt prezentate în tabelul 9 și figurile 2 – 4. Se observă că rezultatele SCFJ sunt foarte apropiate de cele ale CWERRI, iar între acestea și cele două variante ale CWR-BUCKLE sunt diferențe semnificative. Se constată, de asemenea, că rezultatele SCFJ sunt mai apropiate de cele ale CWERRI decât cele furnizate de cele două versiuni ale CWR-BUCKLE ce au fost utilizate în analiza din [5].

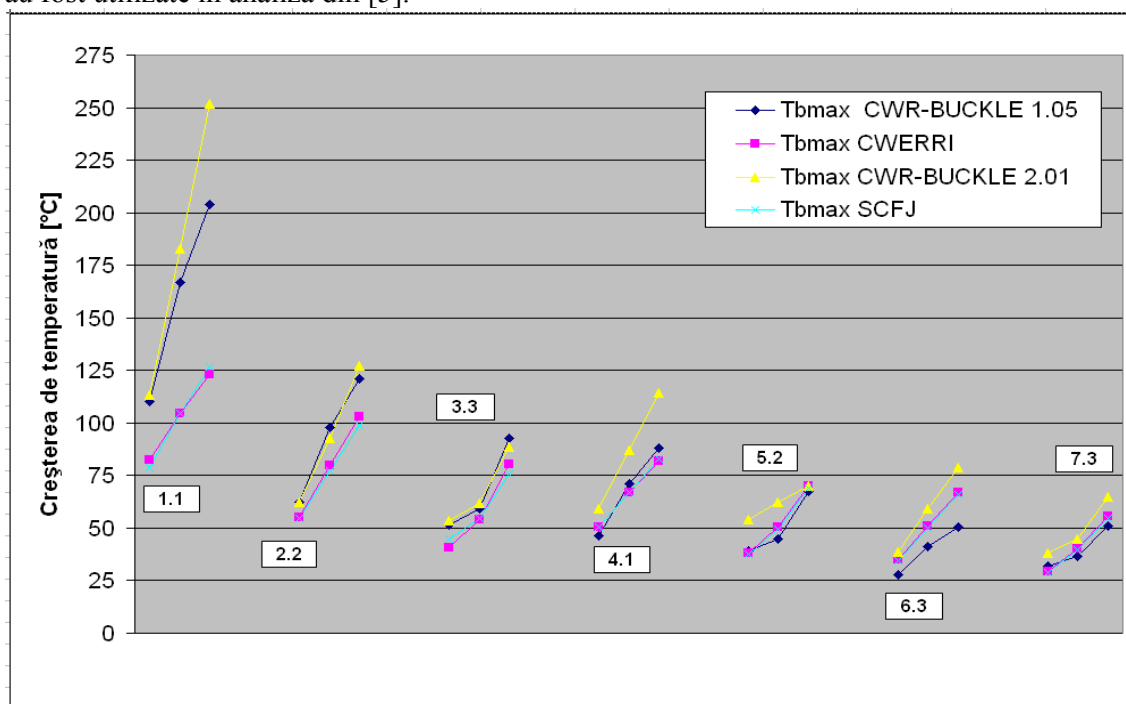


Fig. 2 Valorile creșterii temperaturii critice superioare T_{max} obținute în urma analizei comparative a programelor CWR-BUCKLE 1.05, CWR-BUCKLE 2.01, CWERRI și SCFJ [1]

De asemenea, se constată că rezultatele CWERRI și SCFJ sunt apropiate de cele ale celor două variante ale CWR-BUCKLE pentru T_{min} . În plus, se mai poate constata că există diferențe semnificative între cele două variante ale CWR-BUCKLE, acestea explicându-se prin modul diferit

de definire a deplasărilor ce corespund rezistențelor laterale de vârf și reziduală și a legilor de variație a rezistenței laterale între aceste două valori pentru cele două variante ale CWR-BUCKLE, precum și pentru SCFJ și CWERRI.

Tabelul 8 Tipurile de combinații vehicul-structură de cale [5]

		Toate codurile încep cu:				
		Primul	Al 2- lea	Al 3- lea	Al 4- lea	Al 5- lea
Categorii		Număr				
1	Viteză mare > 200km/h	1				
	Locomotivă ICE pe linie în aliniament					
2	Viteză operațională 160 km/h	2				
	Locomotivă ICE pe linie în curbă R = 900 m	3				
3	Viteză operațională 120 km/h	4				
	Tren de marfă tip 7 Eurocode în curbă R = 600 m	5				
4	Viteză operațională 80 km/h	6				
	Tren de marfă tip 7 Eurocode în curbă R = 300 m	7				
Defect de direcție						
Mic	$\delta = 8$ mm	1	1			
L = 8 m	$\delta = 10$ mm	23	1			
	$\delta = 14$ mm	4567	1			
Mediu	$\delta = 12$ mm	1	2			
L = 10 m	$\delta = 14$ mm	23	2			
	$\delta = 18$ mm	45	2			
	$\delta = 22$ mm	67	2			
Mare	$\delta = 16$ mm	1	3			
L = 12 m	$\delta = 18$ mm	23	3			
	$\delta = 22$ mm	45	3			
	$\delta = 30$ mm	67	3			
Calitatea prismeii căii (Parametrii prismeii căii F_p și F_l)						
Scăzută	$F_p = 10$ kN/m; $F_l = 10$ kN/m	1246		1		
	$F_p = 7$ kN/m; $F_l = 7$ kN/m	357		1		
Medie	$F_p = 15$ kN/m; $F_l = 12$ kN/m	1246		2		
	$F_p = 10$ kN/m; $F_l = 10$ kN/m	357		2		
Ridicată	$F_p = 20$ kN/m; $F_l = 16$ kN/m	1246		3		
	$F_p = 15$ kN/m; $F_l = 12$ kN/m	357		3		
Rigiditatea la rotirea șinei în prinderi						
Slabă		1246			1	
		357			1	
Puternică		1246			2	
		357			2	
Deplasarea corespunzătoare rezistenței de vârf w_p						
Puternică	1 mm	7				1
	2 mm	1 – 7				2
	3 mm	7				3
	5 mm	1 – 7				5
Slabă	10 mm	7				0

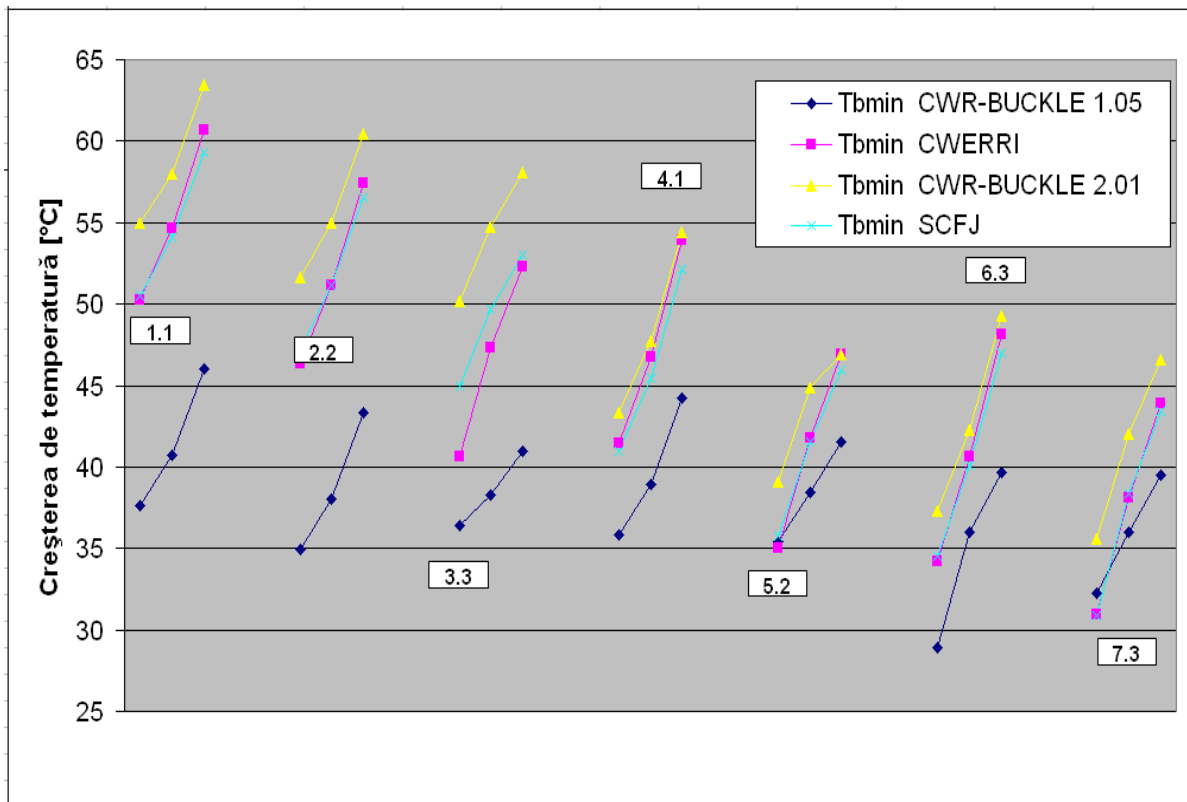


Fig. 3 Valorile creșterii temperaturii critice superioare T_{min} obținute în urma analizei comparative a programelor CWR-BUCKLE 1.05, CWR-BUCKLE 2.01, CWERRI și SCFJ [1]

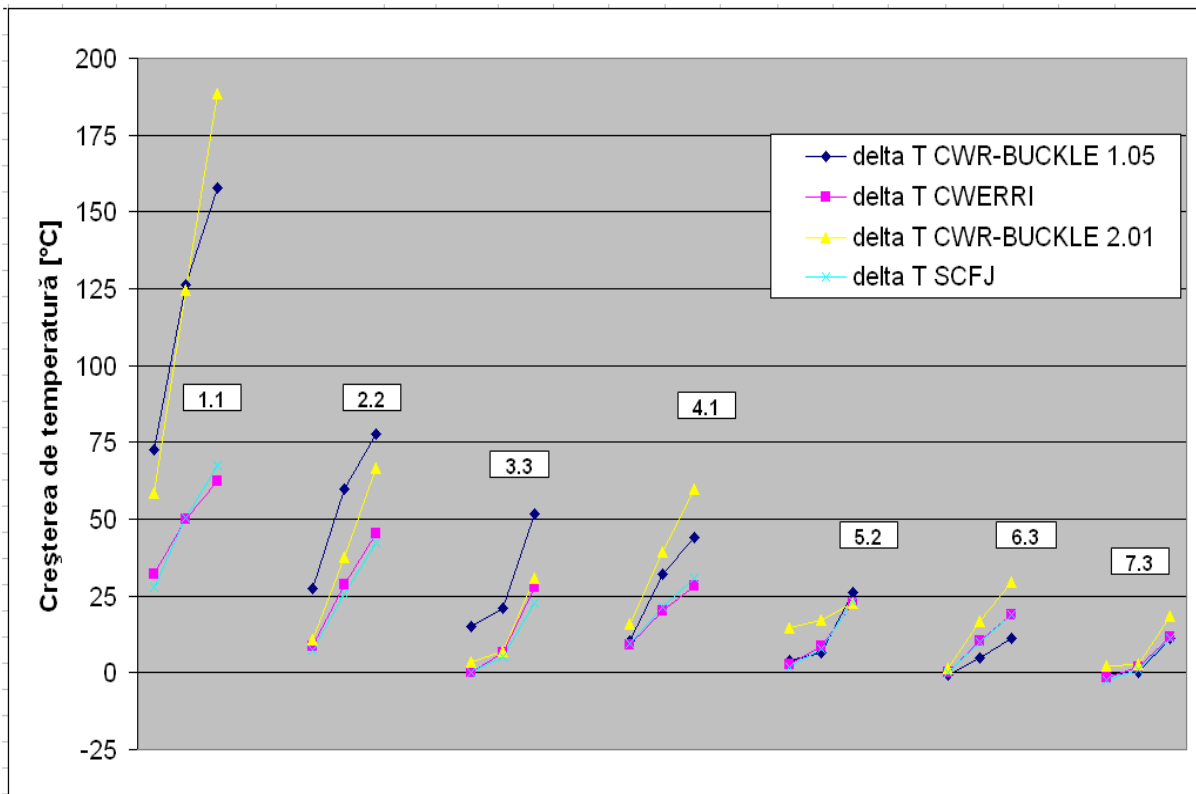


Fig. 4 Valorile diferenței dintre creșterile temperaturilor critice obținute în urma analizei comparative a programelor CWR-BUCKLE 1.05, CWR-BUCKLE 2.01, CWERRI și SCFJ [1]

Tabelul 9 - Rezultatele analizei comparative a programelor CWR-BUCKLE 1.05, CWERRI, CWR-BUCKLE 2.01 și SCFJ [1]

Code				CWR-BUCKLE 1.05			CWERRI			CWR-BUCKLE 2.01			SCFJ		
				T _{max}	T _{min}	delta T	T _{max}	T _{min}	delta T	T _{max}	T _{min}	delta T	T _{max}	T _{min}	delta T
1112	>200 km/h	kt = 75e3	10/10	110.29	37.66	72.63	82.29	50.25	32.04	113.3	55	58.31	78.581	50.53	28.051
1122	R = 00	tanphi = 0.86	15/12	166.97	40.76	126.2	104.7	54.62	50.08	182.7	57.97	124.68	104.47	54.08	50.385
1132	delta = 8 mm	kv= 100e6	20/16	203.86	46.02	157.8	122.9	60.67	62.23	252	63.45	188.55	126.57	59.29	67.283
	L = 8m														
2212	160 km/h	kt = 75e3	10/10	62.32	34.97	27.35	55.12	46.33	8.79	62.3	51.6	10.7	54.583	47.14	7.4382
2222	R = 900	tanphi = 0.86	15/12	97.65	38.05	59.6	80.07	51.17	28.9	92.52	54.99	37.53	77.019	51.11	25.908
2232	delta = 14 mm	kv = 100e6	20/16	120.98	43.32	77.66	102.9	57.45	45.45	127	60.42	66.56	98.875	56.53	42.345
	L = 10m														
3312	160 km/h	kt = 150e3	7/7	51.37	36.42	14.95	40.64	40.61	0.03	53.79	50.19	3.6	44.923	44.92	0.0017
3322	R = 900	tanphi = 1.2	10/10	59.31	38.26	21.05	53.91	47.33	6.58	61.87	54.77	7.1	54.821	49.67	5.1482
3332	delta = 18 mm	kv= 100e6	15/12	92.62	41	51.62	80.11	52.32	27.79	88.8	58.08	30.719	75.61	53	22.614
	L = 12 m														
4112	120 km/h	kt = 75e3	10/10	46.31	35.81	10.5	50.68	41.49	9.19	59.32	43.31	16.01	50.411	40.95	9.4626
4122	R = 600	tanphi = 0.86	15/12	70.83	38.91	31.92	66.85	46.75	20.1	86.84	47.7	39.14	66.955	45.41	21.545
4132	delta = 14 mm	kv = 70e6	20/16	88.06	44.19	43.87	82.08	53.96	28.12	114.3	54.37	59.89	82.756	52.09	30.666
	L = 8m														
5212	120 km/h	kt = 150e3	7/7	39.27	35.44	3.83	37.93	35.06	2.87	53.83	39.08	14.75	37.484	35.79	1.6929
5222	R = 600	tanphi = 1.2	10/10	44.94	38.43	6.51	50.38	41.82	8.56	62.12	44.84	17.28	49.328	41.55	7.7814
5232	delta = 18 mm	kv = 70e6	15/12	67.55	41.5	26.05	69.8	46.92	22.88	69.8	46.92	22.88	68.925	45.96	22.967
	L = 10m														
6312	80 km/h	kt = 75e3	10/10	28	28.91	-0.91	34.92	34.24	0.6d	38.63	37.27	1.36	34.756	34.51	0.2469
6322	R = 300	tanphi = 0.86	15/12	41.06	36.03	5.03	51.24	40.66	10.58	58.97	42.31	16.66	49.914	40.07	9.8449
6332	delta = 30 mm	kv = 70e6	20/16	50.67	39.64	11.03	67.07	48.16	18.91	78.88	49.28	29.6	65.898	46.97	18.924
	L=12m														
7112	80 km/h	kt = 150e3	7/7	32	32.29	-0.29	29.42	30.94	-1.52	38.03	35.58	2.45	28.65	30.88	-2.23
7122	R = 300	tanphi = 1.2	10/10	36.32	36.01	0.31	39.99	38.11	1.88	44.76	42.01	2.75	39.535	38.39	1.1409
7132	delta = 14 mm	kv = 70e6	15/12	50.91	39.53	11.38	55.68	43.88	11.8	64.9	46.61	18.29	54.449	43.39	11.061
	L = 8m														

4. CONCLUZII

În concluzie, SCFJ este un model de simulare a pierderii stabilității cadrului șine-traverse ce oferă rezultate foarte apropiate de cele ale CWERRI. Din analiza rezultatelor se constată faptul că programele CWR-BUCKLE 1.05, CWR-BUCKLE 2.01 supraestimează, de regulă, temperaturile critice, în special în ceea ce privește valorile lui T_{max} .

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]. 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
- [3]. Dósa, A., Ungureanu, V.V. - *SCFJ – model discret de pierdere a stabilității căii fără joante*, Infrastructuri eficiente pentru transporturi terestre – Zilele Academice Timișene, 24-25 mai 2007, Timișoara, Editura SOLNESS

- [4]. ***, *ERRI D202/RP4 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) – Stability of continuous welded rail track*, March 1999, Utrecht
- [5]. ***, *ERRI D202/RP11: Parametric study and sensitivity analysis of CWERRI*, April 1999, Utrecht
- [6]. ***, *ERRI D202/RP12 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) – Final report*, European Rail Research Institute, Utrecht, February 1999
- [7]. Esveld, C., *How safe is CWR?*, WCRR, Colorado Springs, 1996
- [8]. ***, *ERRI D202/RP10 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) – Leaflet UIC 720R, Laying and Maintenance of CWR Track*, April 1999, Utrecht
- [9]. 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
- [10]. ***, *UIC Leaflet UIC 720R, Laying and Maintenance of CWR Track*, 2nd edition, March 2005, Paris
- [11]. ***, *ERRI D202/RP3 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) - Theory of CWR track stability*, European Rail Research Institute, Utrecht, February 1995