



A III –a Sesiune Științifică

CIB 2007

15 - 16 Noiembrie 2007, Brașov

---

## ALGORITM PENTRU STABILIREA RESTRICȚIEI DE VITEZĂ ÎN FUNCȚIE DE PROBABILITATEA DE PIERDERE A STABILITĂȚII CADRULUI ȘINE-TRAVERSE

Valentin-Vasile UNGUREANU<sup>1</sup>, Adam DÓSA<sup>2</sup>

1 UNIVERSITATEA TRANSILVANIA, BRAȘOV, vvungureanu@unitbv.ro

2 UNIVERSITATEA TRANSILVANIA, BRAȘOV, adamdosa@unitbv.ro

**Abstract:** This paper presents an algorithm for appraisal of temporary train speed limits using a probabilistic simulation of the buckling of the continuous welded rail (CWR) track. The temporary train speed limits disturb normal passenger and freight traffic and determine losses due to the decrease of circulation capacity on the railway. The accurate estimation of the allowable temperature limit and of the corresponding safe speed limit on a given railway sector introduced on the basis of the estimation of the risk of temperature buckling is an imperious necessity. Because of the great variability of main parameters which govern the stability of the CWR track, these temporary train speed limits are estimated by a probabilistic approach of the CWR track buckling developed in [1] and [7].

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

### 1. INTRODUCERE

În această lucrare este dezvoltat un algoritm de stabilire a valorilor restricției de viteză în funcție de probabilitatea de șerpuire pentru un sector de cale fără joante (CFJ) cu elementele geometrice și parametrii de stare cunoscuți, precum și un exemplu de calcul, care evidențiază utilitatea calculului probabilistic al stabilității căii fără joante.

Se evidențiază faptul ca abordarea probabilistă a siguranței la șerpuire a căii permite introducerea unor valori ale restricțiilor de viteză bazate pe o analiză tehnico-economică, ceea ce permite creșterea rentabilității transportului feroviar prin reducerea întârzierilor datorate restricțiilor de viteză, reglementările românești în vigoare în acest domeniu fiind prea conservative [3].

### 2. ALGORITMUL DE STABILIRE A VALORII RESTRICȚIEI DE VITEZĂ ÎN FUNCȚIE DE PROBABILITATEA DE PIERDERE A STABILITĂȚII CĂII [1], [2], [3]

Pentru stabilirea restricțiilor de viteză în funcție de probabilitatea de pierdere a stabilității căii se apelează la ideea prezentată pe această temă în [4]. Astfel, se pleacă de la ideea că în domeniile care folosesc de mult timp abordări bazate pe risc (cum ar fi, tot în domeniul transportului, structurile aeronautice), se consideră că probabilitatea de defectare ar trebui să fie mai mică decât  $10^{-6}$ . Considerând aceeași probabilitate și pentru fenomenul de pierdere a stabilității căii, având în vedere că și aceasta are, ca și în cazul structurilor aeronautice, de regulă, caracter catastrofal, vor fi introduse restricții de viteză peste probabilitatea limită admisă ori de câte ori

$P(T) \geq 10^{-6}$ . Creșterea de temperatură peste temperatura neutră ce corespunde acestei probabilități  $P(T) = 10^{-6}$  este numită *creștere critică de temperatură*,  $T_C$ . Aceasta poate fi determinată din curba de variație a probabilității de pierdere a stabilității căii în funcție de creșterea temperaturii în șină peste temperatura neutră, determinată folosind algoritmul de stabilire a probabilității de pierdere a stabilității căii prezentat în [1], [2], [3] și [5]. Se consideră că până la această creștere de temperatură peste temperatura neutră este permisă circulația pe sectorul de linie analizat cu viteza maximă din livret, dacă nu există alte considerente decât cele ce țin de stabilitatea căii pentru care pe acel tronson viteza să fie restricționată sau limitată. Atunci când creșterea temperaturii peste temperatura neutră depășește creșterea critică de temperatură este necesară impunerea reducerii vitezei. O formulă "bazată pe risc" pentru restricția de viteză se poate obține având în vedere prevederea din [4], conform căreia "*deoarece pătratul vitezei este proporțional cu energia externă disponibilă pentru șerpuire, viteza ar trebui să fie redusă proporțional cu radicalul creșterii probabilității de șerpuire*". Se poate spune, în conformitate cu practica feroviară, că viteza de circulație ar trebui să fie redusă când probabilitatea de șerpuire este egală sau depășește o valoare limită precis fixată. Creșterea de temperatură peste temperatura neutră care corespunde acestui nivel de probabilitate este definită ca *creștere limită de temperatură*,  $T_L$ . În [4] este propusă ca valoare a acestei probabilități  $P(T) = 10^{-3}$ . La fel ca și în cazul creșterii critice de temperatură  $T_C$ , creșterea limită de temperatură  $T_L$  poate fi determinată din curba de variație a probabilității de pierdere a stabilității căii în funcție de creșterea temperaturii în șină peste temperatura neutră, determinată folosind algoritmul de stabilire a probabilității de pierdere a stabilității căii prezentat în [1], [2], [3] și [5]. Pentru creșteri ale temperaturii peste temperatura neutră între  $T_C$  și  $T_L$ , în [4] este propusă, în conformitate cu prevederea anterioară, următoarea formulă de reducere a vitezei:

$$\frac{V}{V_{\max}} = \alpha - \beta \sqrt{\frac{P(T)}{P(T_L)}} \quad (1)$$

unde  $\alpha$  și  $\beta$  sunt niște coeficienți ce vor fi determinați din condiții limită,  $V_{\max}$  este viteza maximă de circulație pe sectorul de linie analizat,  $P(T)$  este probabilitatea de șerpuire pentru creșterea  $T$  de temperatură peste temperatura neutră, și  $P(T_L)$  este probabilitatea limită peste care este permisă circulația numai cu viteză foarte mică. Bineînțeles că formula de mai sus este valabilă doar când se respectă inegalitatea  $T_C < T < T_L$ . Deoarece viteza este redusă pe măsură ce probabilitatea de șerpuire crește, nivelul "avariei" posibile va fi, de asemenea, redus. În [4] se recomandă ca nivel al vitezei foarte mici ce corespunde probabilității limită  $P(T_L)$  viteza  $V = 0,05V_{\max}$ , considerându-se că aceasta este viteza pentru care nu se poate produce decât o avarie pentru care riscul este neglijabil, și, prin urmare, pentru  $T > T_L$  această viteză redusă este recomandată. Din condițiile  $T = T_C$  și  $T = T_L$  rezultă coeficienții  $\alpha$  și  $\beta$  și se poate stabili valoarea restricției de viteză în funcție de probabilitatea de pierdere a stabilității căii.

Etapele de parcurs pentru stabilirea restricției de viteză în funcție de probabilitatea de pierdere a stabilității căii sunt următoarele [2]:

- se parcurg etapele pentru stabilirea probabilității de pierdere a stabilității căii (de la 1 la 6) prezentate în [1] și în [7];
- 7. Se alege valoarea pentru probabilitatea limită admisă ce corespunde creșterii critice de temperatură  $T_C$ ;
- 8. Se alege valoarea pentru probabilitatea limită admisă ce corespunde creșterii limită de temperatură  $T_L$ ;
- 9. Se determină, din variația probabilității de pierdere a stabilității căii în funcție de creșterea temperaturii în șină peste temperatura neutră, valorile creșterii critice de temperatură  $T_C$  și creșterii limită de temperatură  $T_L$ ;
- 10. Se alege valoarea vitezei minime  $V_{\min}$  ce corespunde probabilității limită  $P(T_L)$ ;
- 11. Se aplică formula (1) de reducere a vitezei din [4], care a fost prezentată mai sus, și din condițiile  $T = T_C$  și  $T = T_L$  se determină coeficienții  $\alpha$  și  $\beta$ ;

12. Se calculează  $V/V_{\max}$  cu aceeași relație, pentru diverse valori  $T_C < T < T_L$  ale creșterii de temperatură peste temperatura neutră și se reprezintă grafic raportul  $V/V_{\max}$  în funcție de creșterea de temperatură peste temperatura neutră, graficul completându-se cu valoarea 1 pentru  $T \leq T_C$  și cu valoarea  $V_{\min}/V_{\max}$  pentru  $T \geq T_L$ ;
13. Pentru orice creștere de temperatură peste temperatura neutră se determină, din graficul anterior construit sau din calculul analitic, viteza de circulație corespunzătoare.
- Merită menționat faptul că acest algoritm diferă de cel din [6] și [8], care deși este corect din punct de vedere științific, nu poate fi aplicat practic.

### 3. EXEMPLU DE CALCUL [2]

În scopul exemplificării modului de utilizare a algoritmului pentru stabilirea restricției de viteză în funcție de probabilitatea de pierdere a stabilității căii s-au considerat ca date inițiale datele din figura VI.34 din [8]. Astfel, se consideră că sectorul de cale fără joante analizat este cu șine UIC60, traverse din beton, în curbă cu raza de 300 m, are rezistența la rotirea șinei în prinderi de valoare medie, rezistența longitudinală de valoare medie, rigiditatea verticală a fundației de sub talpa șinei cu valoarea de 41 MPa, defecte de direcție de formă sinusoidală conform histogramei din figura 1, rezistența laterală de vârf conform histogramei din figura 2, temperatura neutră conform histogramei din figura 3 și este încărcat cu un vehicul UIC/D4.

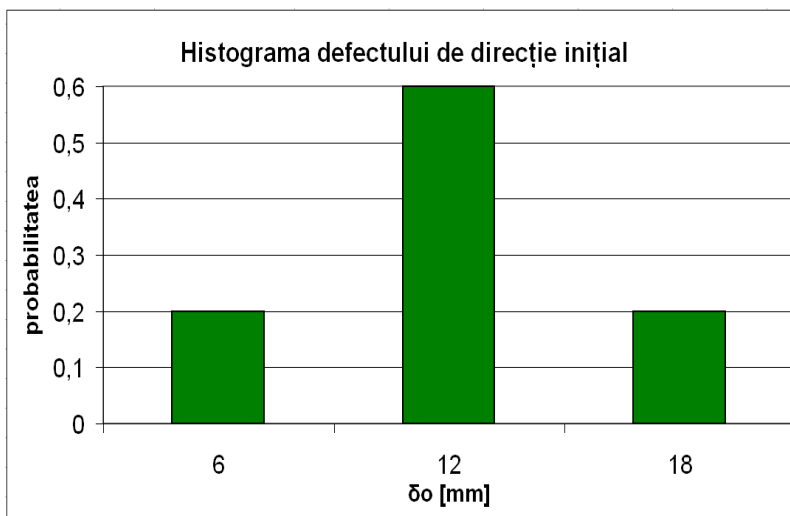


Fig. 1 Histograma defectului de direcție inițial  $\delta_0$  [6], [8]

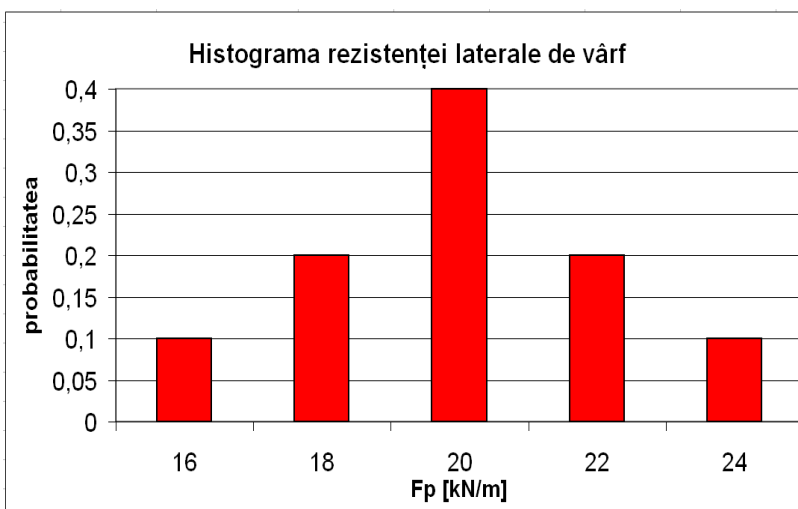
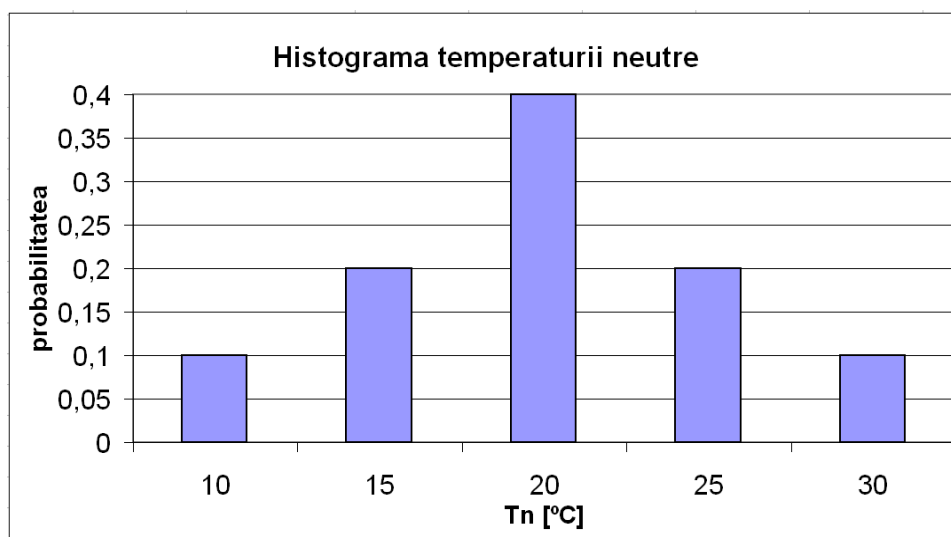
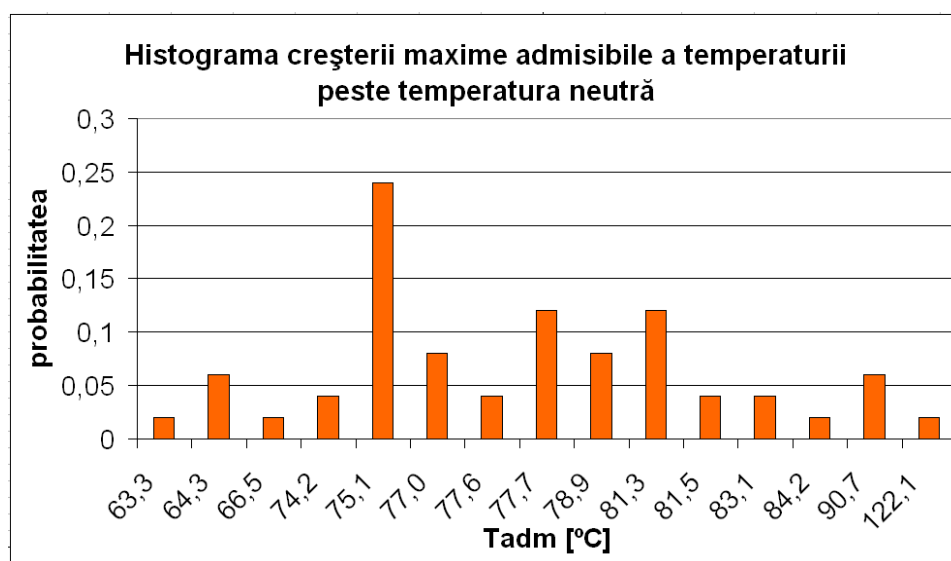


Fig. 2 Histograma rezistenței laterale de vârf  $F_p$  [6], [8]



**Fig. 3** Histograma temperaturii neutre  $T_n$  [6], [8]

Aplicând algoritmul de stabilire a probabilității de pierdere a stabilității căii se obțin, într-o primă fază, din rularea cu programul SCFJ [5] a datelor histogramei defectelor de direcție și histogramei rezistenței laterale de vârf, valorile critice maxime și minime ale creșterilor de temperatură, iar prin aplicarea criteriilor de siguranță din [6] și [8] se obține histograma creșterii maxime admisibile a temperaturii în șină peste temperatura neutră prezentată în figura 4.

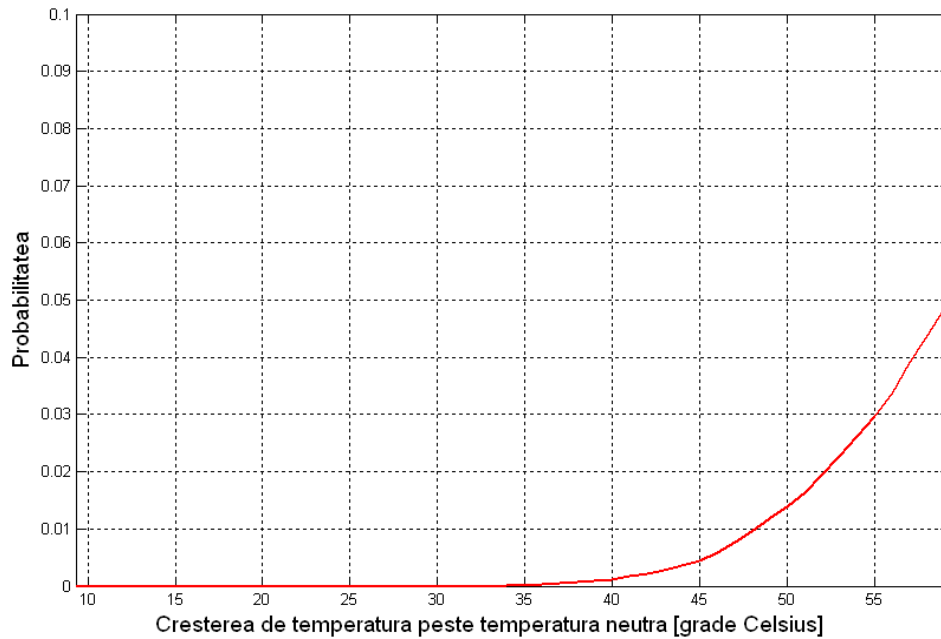


**Fig.4** Histograma creșterii maxime admisibile a temperaturii peste temperatura neutră [2]

Calculând integralele de convoluție pentru histograma creșterii maxime admisibile a temperaturii în șină peste temperatura neutră și histograma diferenței dintre temperatura în șină la un moment dat și temperatura neutră, se obține variația probabilității de pierdere a stabilității căii în funcție de creșterea temperaturii în șină peste temperatura neutră, reprezentată în figura 5. Se consideră ca valori ale probabilităților ce corespund creșterii critice de temperatură  $T_C$  și creșterii limită de temperatură  $T_L$  valorile  $P(T_C) = 10^{-6}$ , respectiv  $P(T_L) = 10^{-3}$ , iar pentru viteza minimă ce corespunde probabilității limită  $P(T_L)$  se consideră valoarea  $V = 0,05V_{\max}$ .

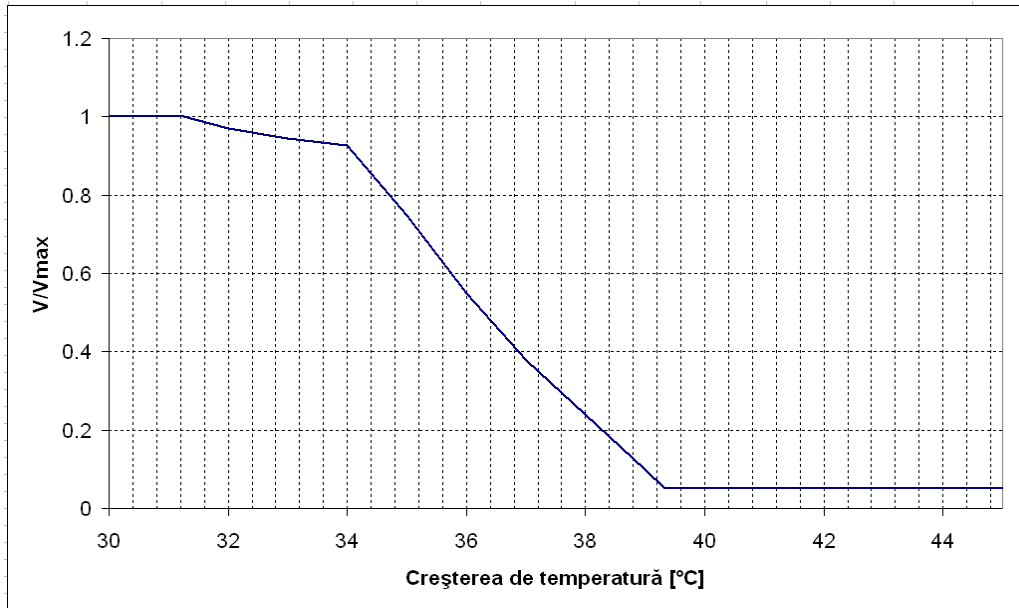
Valorile creșterii critice de temperatură  $T_C$  și creșterii limită de temperatură  $T_L$  au fost determinate pentru  $P(T_C) = 10^{-6}$  și  $P(T_L) = 10^{-3}$  din variația probabilității de pierdere a stabilității căii în funcție de creșterea temperaturii în șină peste temperatura neutră, fiind găsite valorile  $T_C =$

31,2607 °C și  $T_L = 39,3357$  °C. Cu aceste valori ale lui  $T_C$  și  $T_L$ , se determină din relația (1) valorile coeficienților  $\alpha$  și  $\beta$  pentru condițiile la limită  $T = T_C$  și  $T = T_L$ , rezultând  $\alpha = 1,031023$  și  $\beta = 0,981023$ .



**Fig. 5 Probabilitatea șerpuiii în funcție de creșterea de temperatură peste temperatura neutră [2]**

Reprezentarea grafică a raportului  $V/V_{max}$  în funcție de creșterea de temperatură peste temperatura neutră este cea din figura 6.



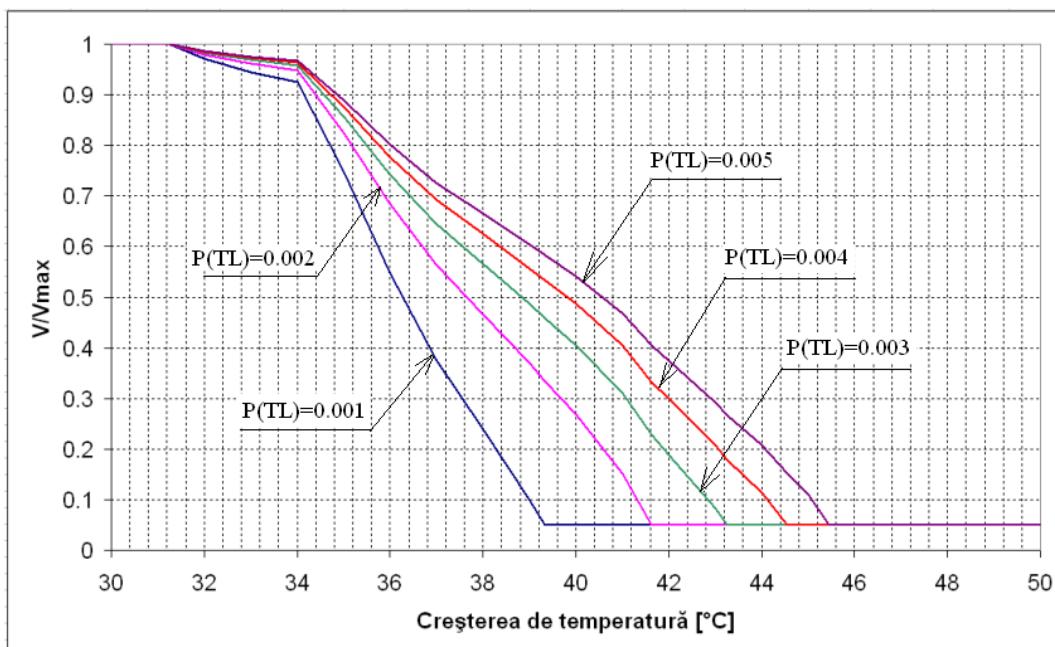
**Fig. 6 Reducerea vitezei în funcție de creșterea de temperatură a șinei peste temperatura neutră pentru o singură valoare a probabilității limită  $P(T_L)$  [2]**

Dacă se modifică valoarea probabilității limită  $P(T_L)$ , se modifică în mod corespunzător și valorile creșterii limită de temperatură peste temperatura neutră  $T_L$ , precum și valorile coeficienților  $\alpha$  și  $\beta$  (Tabelul 1). Pentru situațiile prezentate în tabelul 1 rezultă reprezentarea grafică a raportului  $V/V_{max}$  în funcție de creșterea de temperatură peste temperatura neutră din figura 7. Se constată că

sporirea riscului duce la diferențe importante ale restricțiilor de viteză, mai ales în zona vitezelor mici.

**Tabelul 1** Valorile temperaturilor critică și limită în funcție de probabilitățile alese pentru ele [2]

P(TC)	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06
P(TL)	1.00E-03	2.00E-03	3.00E-03	4.00E-03	5.00E-03
TC [°C]	31.2607	31.2607	31.2607	31.2607	31.2607
TL [°C]	39.3357	41.6284	43.2576	44.5551	45.4481
$\alpha$	1.03102	1.02173	1.01767	1.01526	1.01363
$\beta$	0.98102	0.97173	0.96767	0.96526	0.96363



**Fig. 7** Reducerea vitezei în funcție de creșterea de temperatură a șinei peste temperatura neutră pentru diverse valori ale a probabilității limită  $P(T_L)$  [2]

## 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]. Ungureanu, V.V., Dósa, A., *Modelarea probabilistă a pierderii stabilității căii fără joante utilizând programul SCFJ*, a XXXI-a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, 27-29 Septembrie 2007, Chișinău, Editura U.T.M.
- [4]. Kish, A., Samavedam, G., *Risk Analysis Based CWR Track Buckling Safety Evaluations*, Proceedings of the International Conference on Innovations in the Design & Assessment of Railway Track, Delft University of Technology, The Netherlands, 2-3 December 1999
- [5]. 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
- [6]. \*\*\*, *ERRI D202/RP10 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) – Leaflet UIC 720R, Laying and Maintenance of CWR Track*, April 1999, Utrecht
- [7]. Ungureanu, V.V., Dósa, A., *Algoritm pentru determinarea probabilității de pierdere a stabilității cadrului șine-traverse*, A III –a Sesiune Științifică CIB 2007, 15 - 16 Noiembrie 2007, Brașov
- [8]. \*\*\*, *UIC Leaflet UIC 720R, Laying and Maintenance of CWR Track*, 2<sup>nd</sup> edition, March 2005, Paris