

A IV –a Sesiune Științifică

CIB 2008

21 - 22 Noiembrie 2008, Brașov

APLICAȚII ALE SIMULĂRII PIERDERII STABILITĂȚII CADRULUI ȘINE-TRAVERSE

Valentin-Vasile UNGUREANU¹, Adam DÓSA², Ștefan GRIGERCSEK³

1 UNIVERSITATEA TRANSILVANIA, BRAȘOV, vvungureanu@unitbv.ro

2 UNIVERSITATEA TRANSILVANIA, BRAȘOV, adamdosa@unitbv.ro

3 C. N. C. F. "CFR" S.A. – Regionala CF Brașov, grigercsiki@yahoo.com

Abstract: This paper is about the applications of the simulation of the continuous welded rail (CWR) track buckling subjected to thermal and vehicle loads. The simulation is based on a nonlinear computational model which takes into account the geometric nonlinearity of the rail subjected to high axial forces and also the nonlinearity of material type for the resistances of the fasteners and the resistances of the ballast. There are presented like examples of applications of the simulation of CWR track buckling the influence of rail type, the influence of curvature and the appraisal of temporary train speed limits in function of the temperature of the rail, for a CWR track segment with known railway line state and geometry, for a given buckling probability.

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

1. INTRODUCERE

Avantajele evidente ale căii fără joante au condus la generalizarea aplicării ei la liniile moderne de cale ferată. S-a avut însă în vedere că modul de lucru al căii fără joante conduce la eforturi importante în șine, în principal din variații de temperatură, fapt ce obligă la stabilirea măsurilor necesare pentru asigurarea siguranței circulației în condiții de cheltuieli minime.

Experimentările făcute de-a lungul timpului referitoare la pierderea stabilității căii fără joante s-au limitat, cu câteva excepții, la analiza situației în care pierderea stabilității cadrului șine-traverse se produce doar din variații de temperatură, deci în absența convoiului, datorită faptului că o încercare in-situ a șerpuirii căii fără joante (CFJ) sub convoi este extrem de costisitoare. În acest context, s-au căutat metode de analiză a fenomenului de șerpuire și cuantificare a influenței factorilor ce intervin în acest fenomen, care să fie sigure și puțin costisitoare. O astfel de metodă o reprezintă experimentul numeric, cu ajutorul căruia se poate simula fenomenul de șerpuire folosind programe expert.

Utilitatea unui astfel de program este evidentă, în condițiile în care economia de piață, dar și fenomenul de încălzire globală, generează probleme deosebite privind exploatarea și întreținerea căii fără joante de o manieră sigură și rentabilă. De asemenea, un astfel de program ar permite ca

prin studii parametrice să fie evaluată importanța fiecăruia dintre factorii principali ce concură la menținerea stabilității cadrului șine-traverse.

În perioada 1992÷1999 Uniunea Internațională a Căilor Ferate (UIC) a realizat prin intermediul Institutului European pentru Cercetări Feroviare (ERRI) o amplă cercetare referitoare la îmbunătățirea cunoașterii eforturilor din calea fără joante (CFJ), inclusiv aparatele de cale [11]. Această cercetare a fost necesară pentru a se revizui și actualiza Fișa UIC 720 care reglementa problemele referitoare la realizarea și întreținerea căii fără joante, care era din ianuarie 1986 [12]. În noua Fișă UIC 720R [8], care a apărut în martie 2005, au fost introduse concepte și criterii de evaluare a siguranței la șerpuire a CFJ și sunt prezentate studii de caz care fac apel la două programe de analiză a stabilității căii fără joante, unul dezvoltat de Universitatea Tehnologică din Delft (Olanda) pentru ERRI (program numit inițial CWERRI, iar acum LONGSTAB) și celălalt dezvoltat de compania Foster&Miller pentru Administrația Feroviară din Statele Unite ale Americii (FRA) (program numit CWR-BUCKLE) [10], [11]. În acest context, la Facultatea de Construcții din cadrul Universității TRANSILVANIA din Brașov, a fost dezvoltat un program pentru simularea fenomenului de pierdere a stabilității cadrului șine-traverse utilizând un model discret neliniar pentru analiza stabilității căii fără joante încărcate cu variații de temperatură și convoi [7], [9], program denumit SCFJ (Stabilitatea Căii Fără Joante).

2. PROGRAMUL SCFJ DE SIMULARE A PIERDERII STABILITĂȚII CĂII FĂRĂ JOANTE

Programul SCFJ are la bază un model de calcul ce permite analiza neliniară cu elemente finite a stabilității CFJ încărcată cu variații de temperatură și convoi, model ce este implementat într-un program de calcul în limbajul Matlab. Cadrul șine-traverse este modelat cu ajutorul elementelor de tip grindă și de tip resort, cu rigiditate pe direcțiile longitudinală, transversală și la rotire, care țin cont atât de neliniaritatea geometrică a șinei (generată de prezența defectelor de direcție și nivel) supuse la eforturi axiale mari, cât și de comportamentului neliniar al materialului din prisma căii și al prinderii șinei de traversă (Fig.1). Se utilizează un algoritm de control al deplasării, care conduce analiza până în domeniul postcritic, permițând o evaluare mai realistă a influenței imperfecțiunilor de tip defect de direcție asupra siguranței structurii.

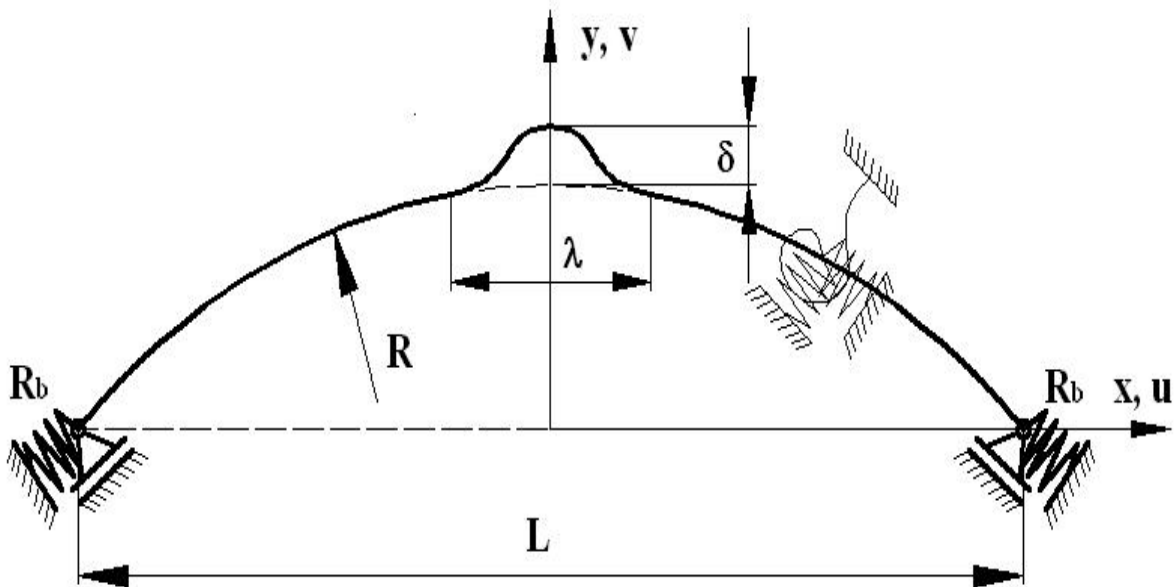


Fig. 1. Vedere în plan a modelului căii fără joante

Pentru validarea programului SCFJ au fost comparate rezultatele acestuia cu cele ale programului CWERRI prezentate în [5], pentru un număr de 252 de cazuri considerate de către experții Institutului European de Cercetări Feroviare (ERRI) ca fiind reprezentative pentru toate situațiile de pierdere a stabilității cadrului șine-traverse ce pot fi întâlnite în practică [3]. S-a constatat o foarte bună concordanță a rezultatelor [2].

La fel ca și în cazul programelor CWERRI și CWR-BUCKLE, rezultatele calculului cu programul SCFJ sunt date sub formă de creșteri de temperatură peste temperatura neutră și deplasări corespunzătoare acestor creșteri de temperatură. Se consideră că pierderea stabilității cadrului șine-traverse se va produce între creșterile de temperatură critică superioară ($T_{b,max}$) și inferioară ($T_{b,min}$), 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 $T_{b,min}$ decât atunci când variația de temperatură peste temperatura neutră din șină este în apropierea lui $T_{b,max}$.

Creșterea de temperatură critică superioară $T_{b,max}$ este acea valoare a creșterii de temperatură peste temperatura neutră peste care în mod sigur se produce pierderea stabilității cadrului șine-traverse fără a se introduce energie suplimentară în sistem, iar creșterea de temperatură critică inferioară $T_{b,min}$ este acea valoare a creșterii de temperatură peste temperatura neutră sub care în mod sigur nu se mai poate produce pierderea stabilității cadrului șine-traverse, indiferent de mărimea energiei suplimentare externe ce este introdusă în sistem.

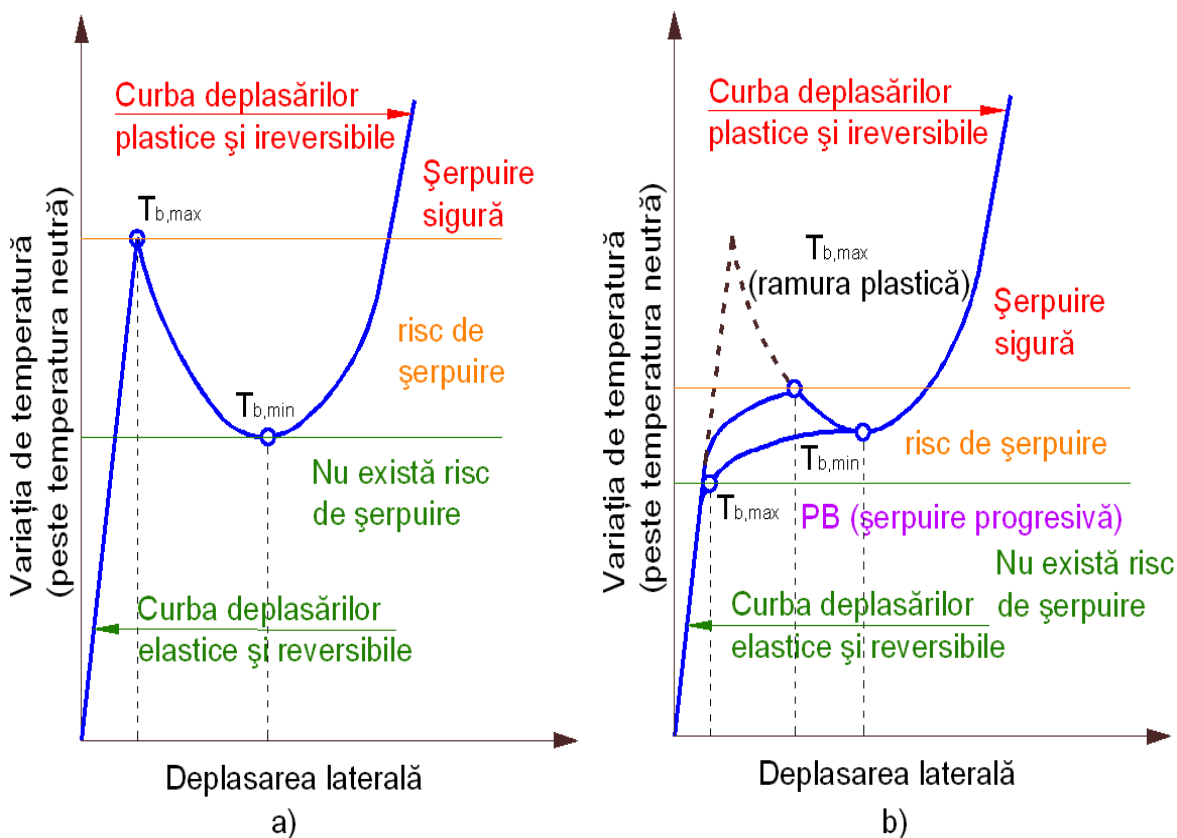


Fig. 2. Deplasarea laterală în funcție de variația de temperatura (peste temperatura neutră) în cazul materialului din prisma căii de bună calitate (a) și în cazul materialului din prisma căii de calitate slabă sau a liniei în curbă cu rază mică (b)

Fenomenul de pierdere a stabilității cadrului șine-traverse este caracterizat prin *curbele caracteristice de răspuns aferente* [10]. În funcție de geometria liniei și de starea și calitatea materialului din prisma căii, curbele de răspuns la șerpuire caracterizează situația unui răspuns exploziv, dinamic, respectiv, situația unui răspuns progresiv (Fig. 2).

3. APLICAȚII ALE SIMULĂRII ȘERPUIRII CADRULUI ȘINE-TRAVERSE FOLOSIND PROGRAMUL SCFJ

Principalele aplicații ale simulării șerpuirii cadrului șine-traverse folosind programul SCFJ în cadrul lucrărilor de proiectare, realizare, întreținere, supraveghere și exploatare a căii fără joante sunt următoarele:

- 1) explicarea sau investigarea proprietăților liniare sau neliniare ale prismeii căii, a tipului șinei, defectelor de direcție, efectelor lipsei traverselor sau prinderilor ori a reducerii rezistențelor prismeii căii și a rigidității la rotirea șinei în prindere asupra stabilității cadrului șine-traverse etc.
- 2) creșterea eficienței exploatarea infrastructurii pe perioada temperaturilor ridicate prin folosirea programului SCFJ la stabilirea restricției de viteză în funcție de probabilitatea aleasă de pierdere a stabilității cadrului șine-traverse;
- 3) evaluarea siguranței la șerpuire a căii fără joante pe perioada temperaturilor ridicate folosind programul SCFJ pentru calculul probabilității de pierdere a stabilității cadrului șine-traverse;
- 4) implementarea criteriilor de siguranță din Fișa UIC 720R [8] pentru calculul creșterii de temperatură admisibilă în șină pentru o cale cu elementele dimensionale și parametrii de stare cunoscuți;
- 5) analiza evenimentelor de tip șerpuire, prin simularea a diverse scenarii referitoare la parametrii de stare ai căii și depistarea celei mai probabile variante de producere a evenimentului, utilizând programul SCFJ;
- 6) evaluarea din punct de vedere al stabilității căii fără joante a introducerii de noi elemente în alcătuirea căii prin simularea comportamentului acestora utilizând programul SCFJ;
- 7) evaluarea din punct de vedere al stabilității căii fără joante a introducerii de noi tipuri de vehicule feroviare prin simularea răspunsului căii la acțiunea acestora utilizând programul SCFJ;

În cele ce urmează sunt prezentate câteva rezultate practice ale aplicațiilor sus-menționate.

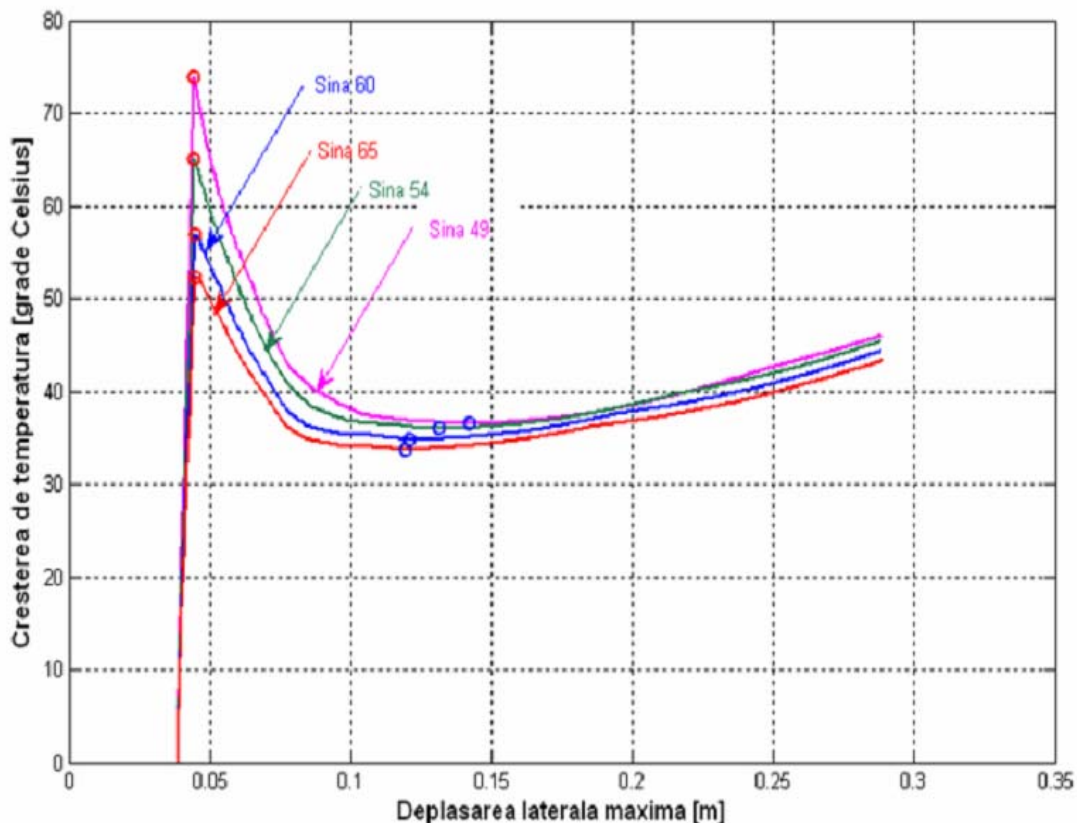


Fig. 3. Curbele variație de temperatură – deplasare pentru situația căii solicitată doar cu variații de temperatură [1], [7]

Astfel, din analiza influenței tipului de șină asupra șerpuirii cadrului șine-traverse, rezultă faptul că cu cât tipul șinei este mai mare, cu atât crește pericolul pierderii stabilității cadrului șine-traverse. Rezultă că este util ca la alegerea tipului șinei pentru o linie să se țină seama și de faptul că odată cu creșterea tipului șinei crește și riscul de pierdere a stabilității căii, deci este bine să se aleagă un tip de șină mai ușor, dacă acesta satisface celelalte condiții ce determină alegerea tipului de șină. O curbă de răspuns pentru situația căii cu șine tip 49, 54, 60 sau 65, solicitată doar cu variații de temperatură, este prezentată în figura 3 .

În figura 4 este prezentată influența razei de curbură a căii asupra creșterilor de temperatură critice, pentru o cale având parametrii geometrici și de stare ca în [6].

Se observă că valorile creșterilor de temperatură critice sunt direct proporționale cu mărimea razei de curbură.

Cea mai utilă aplicație a simulării șerpuirii cadrului șine-traverse folosind programul SCFJ o reprezintă stabilirea valorilor restricției de viteză în funcție de probabilitatea de șerpuire pentru un sector de CFJ cu elementele geometrice și parametrii de stare cunoscuți.

Folosind algoritmi dezvoltati în [1] se determină analitic și se poate reprezenta grafic, ca în fig. 5, probabilitatea șerpuirii în funcție de creșterea de temperatură peste temperatura neutră [7], precum și valoarea raportului V/V_{max} în funcție de creșterea de temperatură peste temperatura neutră.

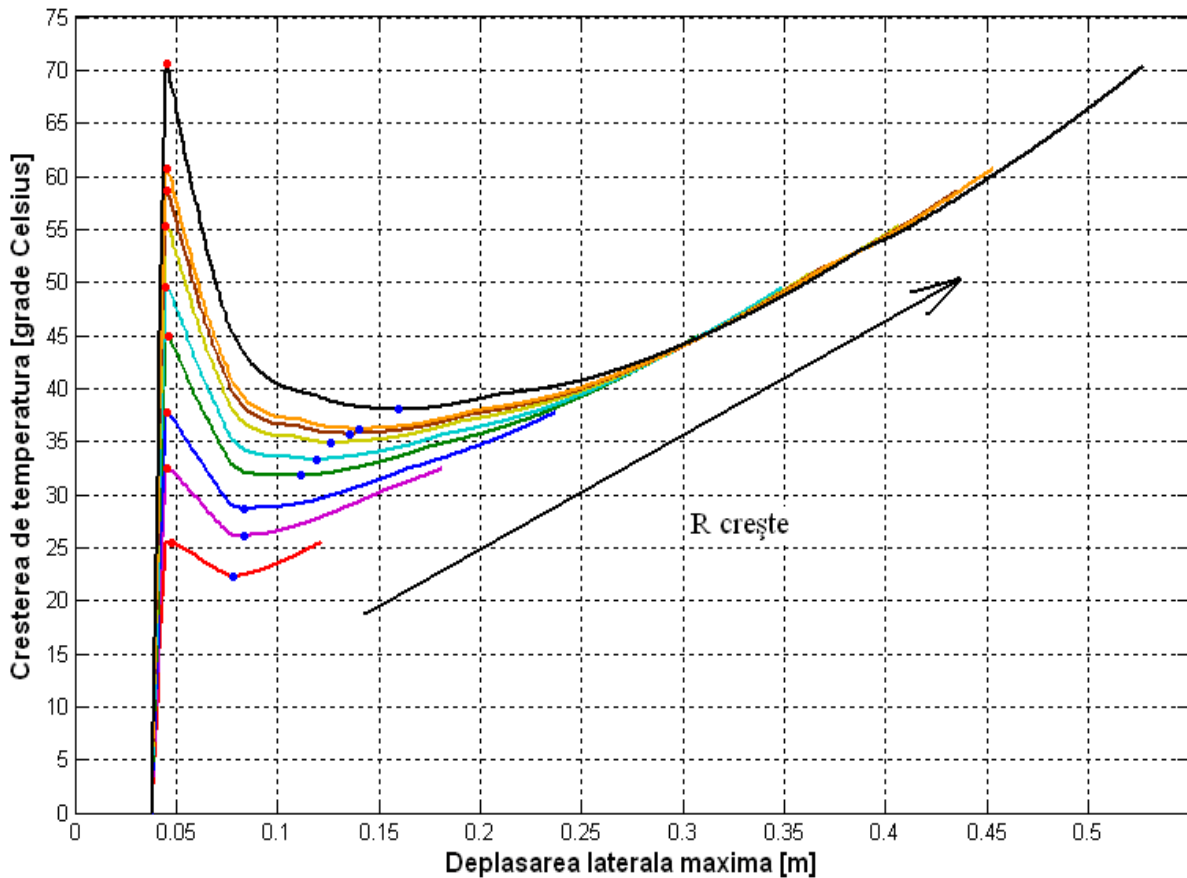


Fig. 4 Curbele creștere de temperatură – deplasare laterală pentru diverse mărimi R ale razelor analizate

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, restricții de viteză pot fi considerate 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 anterior. 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.

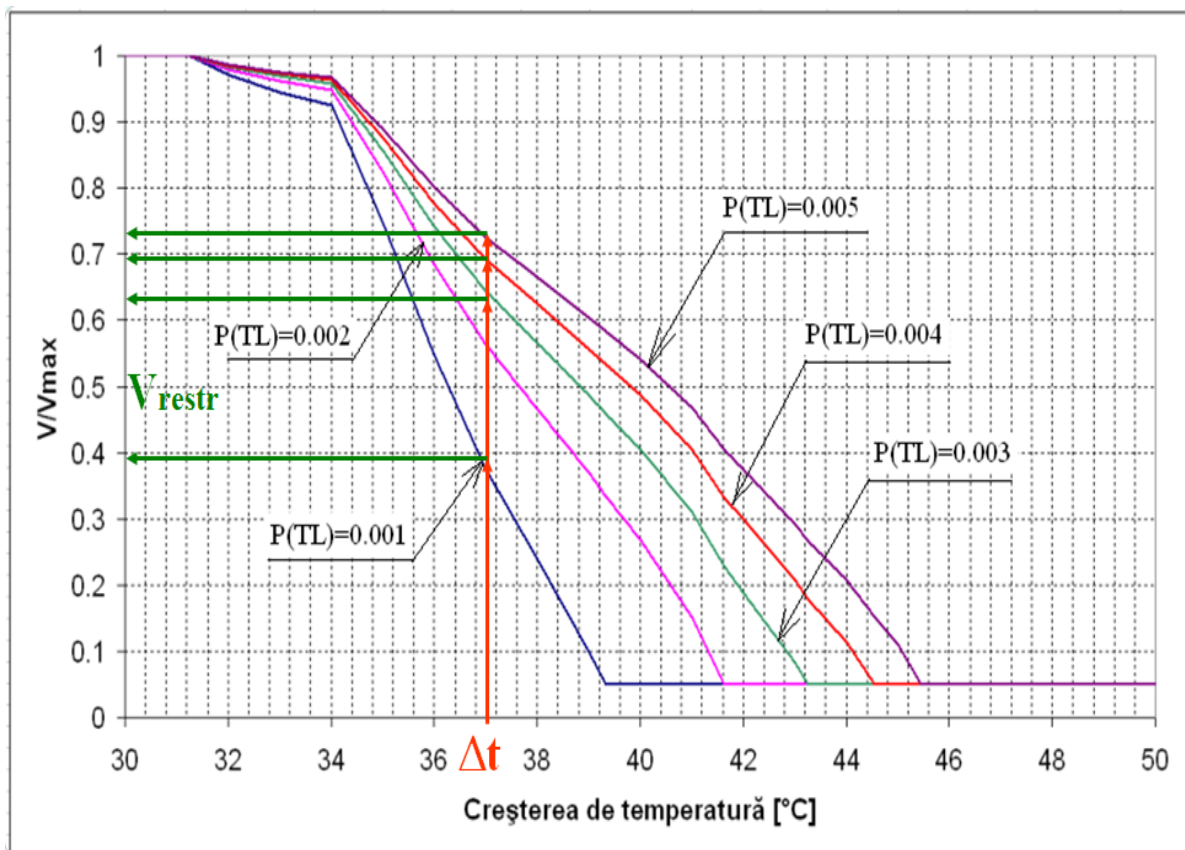


Fig. 5 Reducerea vitezei în funcție de creșterea de temperatură a șinei peste temperatura neutră pentru diverse valori ale a probabilității limită $P(T_L)$ [1]

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 anterior. Pentru creșteri ale temperaturii peste temperatura neutră între T_C și T_L în [92] 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 α și β 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 $T_C < T < T_L$ (2). 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 $V = 0,05V_{\max}$ (3), 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 α și β și se poate stabili valoarea restricției de viteză în funcție de probabilitatea de pierdere a stabilității căii.

Din fig. 7, pentru o probabilitate de șerpuire și o creștere a temperaturii peste temperatura neutră dorite, se obține valoarea V/V_{\max} corespunzătoare, din care se poate aprecia mărimea reducerii vitezei V_{restr} .

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

4. CONCLUZIE

Simularea pierderii stabilității căii fără joante este o metodă foarte eficientă și economică de gestionare a siguranței căii fără joante, ce permite luarea unor decizii privind exploatarea și întreținerea acestora de o manieră mai realistă și mai profitabilă decât în lipsa simulării.

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., **Studiu parametric pentru validarea programului SCFJ**, a XXXI-a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, 27-29 Septembrie 2007, Chișinău, Editura U.T.M.
- [3] ***, **ERRI D202/RP11: Parametric study and sensitivity analysis of CWERRI**, April 1999, Utrecht
- [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] ***, **ERRI D202/RP10 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) – Leaflet UIC 720R, Laying and Maintenance of CWR Track**, April 1999, Utrecht
- [6] Esveld, C., **A better understanding of continuous welded rail track**, Rail Engineering International, No. 4, 1996
- [7] 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

- [8] *****, Leaflet UIC 720R - Laying and Maintenance of CWR Track**, 2nd edition, March 2005, Paris
- [9] Dósa,A., Ungureanu V.V., **SCFJ – model discret de pierdere a 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
- [10] *****, ERRI D202-RP3 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) - Theory of CWR track stability**, European Rail Research Institute, Utrecht, February 1995
- [11] *****, ERRI D202-RP12 Improved knowledge of forces in CWR track (including switches) – Final report**, European Rail Research Institute, Utrecht, February 1999
- [12] *****, Leaflet UIC 720 R - Laying and maintenance of CWR Track**, 1st edition, Paris, January 1986