

DINAMICA TRANSVERSALĂ A VEHICULULUI FERROVIAR ȘI RISCUL DE DERAIERE LA INSTABILITATEA TRANSVERSALĂ

TRANSVERSAL DYNAMICS OF THE RAILWAY VEHICLE AND RISK OF DERAILMENT AT THE TRANSVERSAL INSTABILITY

Lucian BLAGA¹, Gelu DAE², Gabriel POPA³, George MICU⁴,
Claudiu-Nicolae BADEA⁵, George DUMITRU⁶

¹Autoritatea Feroviară Română, Calea Griviței nr. 393, sectorul 1, București, România.
e-mail autor: Lucian BLAGA: blaga@ofer.ro

^{1,2,4,6}Autoritatea Feroviară Română - Calea Griviței nr. 393, sectorul 1, București, România.
^{3,5}Universitatea Politehnica București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România.
e-mail autor:

Lucian BLAGA: blaga@ofer.ro,
Gelu DAE: dae_gelu@ofer.ro,
Gabriel POPA: gabi21popa@yahoo.com,
George MICU: micu.george@ofer.ro,
Claudiu-Nicolae BADEA: casagalbenas@yahoo.com,
George DUMITRU: george.dumitru.cfr@gmail.com

Rezumat: Stabilitatea laterală a vehiculelor feroviare a fost un domeniu de cercetare de mai multe decenii, în principal, motivat de deraierea accidentală a vehiculelor și vitezele mai mari de circulație, dar și de problemele legate de consumul redus de energie și de costurile de întreținere a căii, solicitările fiind pentru greutatea cât mai mică ale vehiculului. În timpul funcționării de zi cu zi, vehiculele feroviare sunt supuse la influențe laterale mari, la neregularități ale căii ferate, curbe de cale, ceea ce duce la devieri mari ale suspensiei și creșterii sensibilității la vânt lateral. În prezenta lucrare, s-au efectuat simulări multicorp ale unui vehicul de mare viteză la influență laterală mare din curbele căii și neregularităților căii ferate.

Cuvinte cheie: Dinamica vehiculului feroviar, rezistența la vânt, risc de deraiere, simulări multiple, aerodinamica nesigură.

Abstract: The lateral stability of railway vehicles has been a field of research for several decades, mainly driven by accidental derailment of vehicles and higher speeds movement, but also by issues of low energy consumption and maintenance costs, requests being made for the smallest weights of the vehicle. During day-to-day operation, railway vehicles are subjected to large lateral influences, railway irregularities, curves, leading to large suspension deviations and increased lateral wind sensitivity. In the present paper was made a multicorp simulations of a high speed vehicle have been performed at high lateral influence from the curves of the track and the irregularities of the railway

Keywords: Rail vehicle dynamics, crosswind stability, derailment risk, multibody simulations, unsteady aerodynamics.

1. INTRODUCERE

Stabilitatea laterală a vehiculelor feroviare a fost un subiect de cercetare în ultimele decenii, motivat în principal de răsturnarea accidentelor [1]. Eșecul vehiculelor feroviare supuse vântului lateral are loc în principal, în ceea ce privește vehiculul feroviar, deraierea pe una dintre șine, în general pe șina exterioară a curbei conform figurii 1, [2]. care prezintă cel mai comun tip de accident de vânt lateral pentru un vehicul feroviar, care deraiază de pe șine.

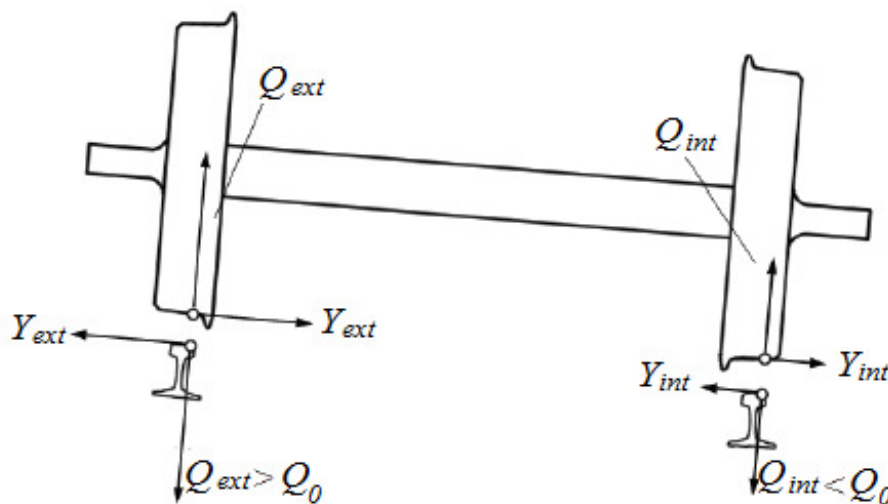


Fig. 1. Forțele roată - șină în timpul mersului în curbe la deficiența de supraînălțare. Forța laterală Y , forța verticală Q . Roțile exterioare și interioare / șinele. $Q_{in} < Q_0 < Q_{ext}$, unde Q_0 este sarcina nominală pe roată. Contactul exterior-șină este aproape de buza bandajului roții. Dacă contactul roată-șină este pierdut, vehiculul poate deraia peste șina exterioară.

2. RISCUL DE DERAIERE

Descărcarea roții $(Q_0 - Q)/Q_0$ conform figurii 1. Este o cantitate acceptată pentru a aprecia deraierea unui vehicul feroviar. Această metodă este utilizată în mai multe studii, de exemplu [3, 4, 5], precum și standardele naționale și internaționale [6, 7]. Descărcarea roții este evaluată pentru roțile cu bandaj nou și nu pot depăși un anumit procent din forța statică. Acest procent este adesea stabilit la 90%, astfel

$$\frac{Q_0 - Q}{Q_0} \leq 0,9 \quad (1)$$

Coefficientul este adesea filtrat cu ± 2 Hz sau 1,5 Hz [6,7,8], motivată de caracterul redus al frecvenței procesului de deraiere și, prin urmare, neglijând în principal influența neregulilor căii de rulare. Alegerea unei frecvențe de separare relativ scăzută a filtrării poate fi discutată totuși. Totuși, există, de asemenea, standarde care neglijează complet efectele neregulilor căii de rulare [7]. De asemenea, este posibil să se țină cont de un boghiu întreg prin calcularea valorii medii de descărcare pentru roțile interioare ale osiilor montate ale unui boghiu [6, 7]. Metoda de descărcare a roților poate fi utilizată atât în măsurători pe teren, cât și în simulări.

Metoda momentului calculează momentele din șina interioară / exterioară. Metoda necesită încărcările aerodinamice ale vehiculului și compară momentul de stabilizare datorat

Dinamica transversală a vehiculului feroviar și riscul de deraiere la instabilitatea transversală

forțelor gravitaționale ale vehiculului cu momentul de deraiere datorat sarcinilor aerodinamice și centrifuge. Dacă aceste momente sunt egale, vehiculul începe să se deraieze. De obicei, metoda nu ia în considerare efectele dinamice ale neregularităților căii. Cu toate acestea, Andersson [2] descrie o metodă de moment având în vedere dinamică laterală a căii. Datorită cerinței sarcinilor aerodinamice, această metodă poate fi aplicată doar pentru simulări.

Metoda interceptării utilizează forțele verticale și (indirecte) forța laterală a șinei pentru a calcula un risc de deraiere a vehiculului feroviar. Se calculează forța rezultantă a forțelor roată-șină și punctul său de atac în planul liniei, b_t , față de centrul de căi care este comparat cu jumătatea distanței punctelor de contact roată-șină de pe o singură osie, b_0 , conform figurii 2.

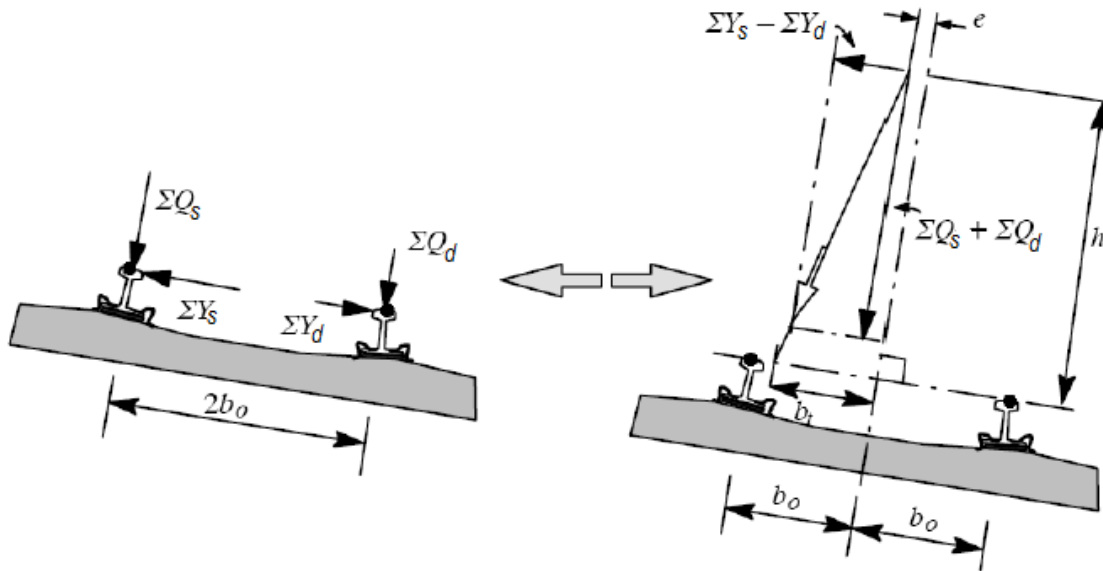


Fig. 2. Definirea cantităților pentru calcularea riscului de deraiere prin metoda interceptării.
s – stânga, *d* – dreapta.

Procentul acestor valori este utilizat ca măsură de siguranță:

$$n_{R,int} = \frac{b_t}{b_0} = \frac{\sum boghiu |Q_s - Q_d|}{\sum boghiu (Q_s + Q_d)} \quad (2)$$

O valoare între 0,8 și 1 este de obicei utilizată ca limită [8]. De asemenea, de obicei se aplică filtrarea cu trecere joasă cu 1,5 Hz [2]. Metoda de interceptare este posibilă atât pentru măsurători de teren, cât și pentru simulări. Pentru informații detaliate, consultați de exemplu [2].

O altă posibilitate de a evalua riscul de deraiere este simularea unui vehicul care deraiază pur și simplu. Apoi, modelul de simulare trebuie să poată gestiona pierderea contactului roată-șină, de obicei în curbe la șină interioară la mișcări forțate ale vehiculului în caz de deraiere a vehiculului feroviar [9].

3. MODELAREA ȘI SIMULAREA STABILITĂȚII VÂNTULUI LATERAL

Modelarea și simularea stabilității în direcția vântului dintr-o perspectivă dinamică a vehiculului feroviar a reprezentat un subiect de cercetare în unele studii, care au condus mai

ales la o evaluare a riscurilor, de exemplu [3, 10] și de asemenea, unele standarde țin cont de dinamica vehiculelor feroviare [6, 7, 11]. De obicei, stabilitatea vântului lateral este investigată prin aplicarea unor sarcini aerodinamice pe un model de vehicul feroviar în cadrul simulărilor dinamice multiple. Totuși, s-au utilizat și abordări mai simple folosind modele cvasistatice [12, 13]. În ceea ce privește sarcinile aerodinamice, se poate face o distincție între rafalele temporale și rafalele spațio-temporale. Primul considera coeficienții aerodinamici obținuți prin testele de tunel eoliene sau CFD-ul staționar, în combinație cu o serie de timp cu o formă de influență deterministă. Aceasta este folosită în [6, 7]. O rafală spațio-temporală include efectele diferitelor sarcini aerodinamice în spațiu și, de asemenea, în timp datorate vehiculului feroviar în mișcare. Scenariile de vânt utilizate pentru simulările multiple pot reprezenta fie prin modele de rafale deterministe sau sarcini eoliene tranzitorii măsurate. Au fost propuse mai multe rafale deterministe, fie cu un context meteorologic, fie ca abordări mai simple pentru a studia reacțiile vehiculului, a se observa ca exemple [3, 7, 8, 14, 15, 16]. A fost o rațiune deterministă în combinație cu fluctuațiile turbulente suprapuse utilizate de [5, 17]. În ultimul timp CFD instabil a fost folosit pentru a obține sarcini aerodinamice la un vehicul feroviar de la rafale. Exemplele sunt [15, 18]. Rezultatele din [15] au fost utilizate în [16] pentru a studia răspunsul unui vehicul feroviar de mare viteză la vânt lateral instabil, incluzând o comparație a unei rafale spatio-temporale și a unui moment temporal care utilizează forma de influență a TSI.

Pentru o evaluare a riscurilor, rezultatele simulării sunt adesea indicate ca curbe caracteristice ale vântului ale vehiculului feroviar, arătând, de exemplu, viteza critică a vântului pentru un vehicul feroviar pentru diferite deficiențe de supraînălțare și viteze ale vehiculului, conform figurii 3. Evaluarea riscului se face apoi prin compararea rezultatelor cu condițiile predefinite [16]. Exemple de astfel de condiții găsite în literatura de specialitate sunt o serie de posibile accidente de deraiere pe un anumit segment de cale [3], sau o comparație cu alte vehicule despre care se știe că sunt sigure [6, 7, 19].

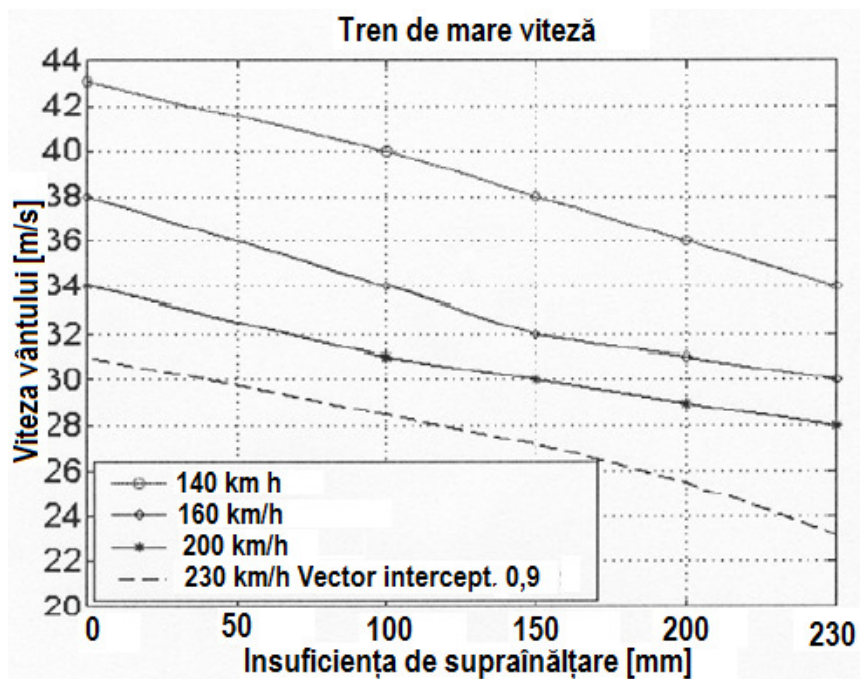


Fig. 3. Curba caracteristică a vântului pentru tren de mare viteză [2].

Dinamica transversală a vehiculului feroviar și riscul de deraiere la instabilitatea transversală

Alte abordări ale evaluării riscului calculează probabilitatea de deraiere a vehiculului datorită vântului lateral prin luarea intrărilor de simulare, cum ar fi încărcăturile aerodinamice, ca variabile și incerte. Aplicând metode de fiabilitate precum analiza *Monte Carlo*, se poate calcula probabilitatea de deraiere a vehiculului [3, 5, 20]. O analiză a sensibilității privind coeficienții aerodinamici ai vehiculului, precum și amplitudinea și durata de rafală sunt incluse în [5].

6. CONCLUZII

Scopul acestui studiu a fost de a investiga răspunsul și stabilitatea laterală a unui vehicul feroviar de mare viteză, datorită influențelor laterale mari de nereguli ale liniilor, ale curbilor șinelor și ale vântului lateral instabil. Lucrarea a inclus studiile de dinamică a vehiculelor de mare viteză la deformări mari ale suspensiilor datorită impactului lateral mare de la curbele șinelor și neregularitățile căii, pentru a analiza fiabilitatea simulărilor multiple în astfel de condiții și în ceea ce privește deraierea vehiculului feroviar.

A fost investigat răspunsul unui vehicul feroviar de mare viteză supus vântului lateral instabil în timpul negocierii curbei. Aceasta a conținut expunerea vehiculului la sarcini aerodinamice instabile. Dificultățile deterministe aplicate au reprezentat rafale în câmp deschis. Folosind o simplă deraiere artificială, s-au efectuat comparații ale diferitelor momente de rafală și curbă și ale parametrilor privind influența proprietăților de masă și suspensie ale vehiculului asupra sensibilității la vânt. S-a demonstrat că poziția verticală a centrului de masă al caroseriei și orificiul lateral de basculare influențează semnificativ stabilitatea vântului lateral. O comparație a unei rafale spațio-temporale și temporare nu a indicat diferențe semnificative în răspunsul vehiculului. Cu toate acestea, investigațiile suplimentare pe această temă ar trebui să facă parte din activitatea viitoare.

În general, influența neregularităților căii ferate și a filtrării influențelor aplicate în cadrul diferitelor criterii de deraiere ar fi de mare interes pentru investigațiile ulterioare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **G. Dae, M. Carabineanu, G. Popa, A. Badea, C-N. Badea, G. Dumitru**, „*Oscillation Dynamics of Four Axles Tank Wagon*”, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, Vol. 8 (2017), nr. 2, Editura Matrix Rom.
- [2] **E. Andersson, M. Berg, S. Stichel**, “*Rail Vehicle Dynamics*”, Dep. of Aeronautical and Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2007.
- [3] **A. Carrarini**, „*Reliability based analysis of the crosswind stability of railway vehicles*”, Ph.D. thesis, Technische Universitat Berlin, ISBN 3-8322-5232-0, Shaker Verlag, Aachen, Germany, 2006.
- [4] **C. Wetzel and C. Proppe**, „*On the crosswind stability of high speed railway vehicles*”, Proc. Appl. Math. Mech. 6 (2006), pp 341–342.
- [5] **C. Wetzel and C. Proppe**, „*On reliability and sensitivity methods for vehicle systems under stochastic crosswind-loads*”, to appear in Vehicle System Dynamics.
- [6] **DB Netz AG**, „*Ausgewählte Maßnahmen und Anforderungen an das Gesamtsystem Fahrweg/Fahrzeug - Aerodynamik/Seitenwind*”, RIL 80704, 2006.

- [7] **European Rail Agency**, „*Technical Specification for Interoperability (TSI) - Rolling stock subsystem*”, 96/48/EC, 2008.
- [8] **S. Lippert**, „*On Side Wind Stability of Trains*”, TRITA-FKT Report 1999:38, ISSN 1103-470X, Dep. of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 1999.
- [9] **I. Sebeşan, G. Popa, C.N. Badea, A. Badea**, „*Influence shock attack on safety guidance*”, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 809-810, pp. 1091-1096 © 2015 Trans Tech Publications, Switzerland.
- [10] **E. Andersson, J. Haggstrom, M. Sima and S. Stichel**, „*Assessment of train overturning risk due to strong cross-winds*”, Proc. Instn. Mech. Engrs., Part F: J Rail and Rapid Transit 218 F3, pp 213–223, 2004.
- [11] **CEN**, „*prEN 14067-6 - Railway applications - Aerodynamics - Part 6: Requirements and test procedures for cross wind assessment*”, *European Norm*, CEN/TC 256, 2008.
- [12] **G. Popa, I. Sebeşan, M. A. Spiroiu, C. N. Badea**, „*Safety Against Derailment for Railway Vehicles*”, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 659 (2014) pp. 223-230 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland.
- [13] **B. Diedrichs, M. Ekequist, S. Stichel and H. Tengstrand**, „*Quasi-static modelling of wheel-rail reactions due to crosswind effects for various types of high-speed rolling stock*”, Proc. Instn. Mech. Engrs., Part F: J Rail and Rapid Transit 218.
- [14] **DEUFRAKO**, „*Common DEUFRAKO Research on Cross Wind Effects on High Speed Railway Operation 2001 – 2004*”, Technical Report, 2005.
- [15] **B. Diedrichs**, „*Unsteady aerodynamic crosswind stability of a high-speed train subjected to gusts of various rates*”, EUROMECH Colloquium 509 Vehicle Aerodynamics - External aerodynamics of railway vehicles, trucks, buses and cars, Berlin, Germany, 24-25 March, 2009.
- [16] **D. Thomas, B. Diedrichs, M. Berg and S. Stichel**, „*Dynamics of a high-speed rail vehicle negotiating curves at unsteady crosswind*”, presented at 21st International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD'09), Stockholm, Sweden, 17-21 August, 2009.
- [17] **C. Proppe and C. Wetzel**, „*A probabilistic approach for assessing the crosswind stability of ground vehicles*”, presented at 21st International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD'09), Stockholm, Sweden, 17-21 August, 2009.
- [18] **S. Krajnovic and E. Bjerklund**, „*Simulation of the flow around high-speed trains meeting each other at the exit of a tunnel*”, presented at 21st International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD'09), Stockholm, Sweden, 17-21 August, 2009.
- [19] **T. Thielkes, N. Rud, C. Heine, M. Moller and J. Driller**, „*Sicherheit des Eisenbahnverkehrs bei Seitenwind - Fahrzeugseitige Anforderungen der neuen Richtlinie 80704 der DB Netz AG*”, ZEVrail 132, pp 162–169, 2009.
- [20] **Y. Ding, M. Sterling and C. Baker**, „*An alternative approach to modelling train stability in high cross winds*”, Proc. Instn. Mech. Engrs., Part F: J Rail and Rapid Transit 22 F2, pp 85 – 97, 2008.