A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

SIMULAREA COMPORTAMENTULUI DINAMIC AL VEHICULELOR FEROVIARE CU AJUTORUL PROGRAMULUI ADAMS/RAIL

Nicuşor Laurenţiu ZAHARIA

RAILWAY VEHICLE DINAMICAL BEHAVIOR SIMULATION WITH ADAMS/RAIL SOFTWARE

Numerical methods are widely used in purpose to predict the behaviour of a railway vehicle. Among numerical applications less known are MBS software.

Cuvinte cheie: MBS, Adams/Rail, vehicul feroviar, dinamică
Keywords: MBS, Adams\/Rail, rail vehicle dynamics

1. Introducere

Metodele numerice au cunoscut o dezvoltare fără precedent o dată cu creşterea puterii de calcul a computerelor. În prezent, în domeniul ingineresc se utilizează foarte multe aplicaţii create special de către producătorii de software. Dintre acestea, programele CAD şi CAE se adresează proiectanţilor şi cercetătorilor în vreme ce programele CAM se adresează în special tehnologilor. Sunt şi cazuri în care un singur program reuneşte triada CAD-CAE-CAM (Catia, de exemplu). Dintre metodele numerice utilizate de către ingineri, metoda elementelor finite este probabil cea mai larg utilizată şi ca urmare cea mai cunoscută. Mai puţin cunoscute sunt programele MBS programe care au aplicaţii special dezvoltate pentru domeniul feroviar [1].

Modelele virtuale construite în programele MBS au la bază modele analitice care sunt prezentate pe larg în literatura de specialitate din România [2], [3], [4] şi din străinătate [6].

Programele specializate pentru analiza şi simularea sistemelor mecanice multicorp (metoda MultiBody Systems Method), denumite generic softuri MBS (MultiBody Systems), au fost lansate pe piaţă în urmă cu mai mult de două decenii; prin această metodă se formulează şi se rezolvă automat ecuaţiile de mişcare ale sistemului mecanic, pe baza modelului geometrico - elastic al sistemului.

Prima aplicaţie MBS cu care am luat cunoştinţă ca urmare a achiziţionării de către AFER a unei licenţe a fost programul ADAMS/Rail, program ce făcea parte din suita de programe Adams a firmei MSC. Din anul 2005 Adams Rail împreună cu alte aplicaţii ale pachetului Adams au fost externalizate către firma Vi-Grade astfel că în prezent se numeşte Vi-Rail. Alte programe MBS cu aplicaţii feroviare sunt Nucars, Simpack, Vampire, Universal Mechanism.

ADAMS/Rail, este un produs cu care se poate modela complet şi cu precizie vehiculele de cale ferată, precum şi să se simuleze în imagini foarte apropiate de realitate, mişcarea acestora, pentru studierea, perfecţionarea şi optimizarea performanţelor acestora, înainte de realizarea şi efectuarea testării fizice a lor [2].

Lucrarea îşi propune să prezinte pe scurt posibilităţile de utilizare a programului Adams/Rail în cercetarea vehiculelor feroviare.

2. Modelul numeric

La pornirea programului, utilizatorul poate opta pentru construirea unui nou model sau pentru încărcarea unuia existent în baza de date. Din păcate, baza de date instalată o dată cu programul este una săracă (două vagoane de pasageri şi unul de marfă) programul neavând realizate ca „template” cele mai utilizate boghiuri din lume – boghiul Diamond şi boghiul Y25 de exemplu. Marele avantaj al modelelor realizate în Adams Rail este acela că sunt parametrizate. Spre exemplu, dacă ne dorim să construim vagoane platformă cu osii independente, modificarea dimensiunilor principale ale vehiculului se face foarte simplu. Caroseriile şi boghiurile se realizează ca subsisteme iar vehiculul format din caroserie şi boghiuri reprezintă un ansamblu.

În figura 1 este prezentat modelul parametrizat al unui vagon de pasageri.

Din punctul de vedere al programului, ceea ce caracterizează caroseria vehiculului sunt: lungimea, lăţimea, înălţimea, masa, momentele de inerţie după cele trei axe şi coordonatele centrului de

masă. Modificarea parametrilor de mai sus în câmpurile programului, atrage după sine şi modificarea vizuală a vagonului. Boghiul – prezentat în figura 2 – este un boghiu de tip Y32. Elementele mecanice (balansieri, arcuri, amortizoare) pot fi modificate atât din punct de vedere geometric cât şi din punct de vedere al caracteristicilor.

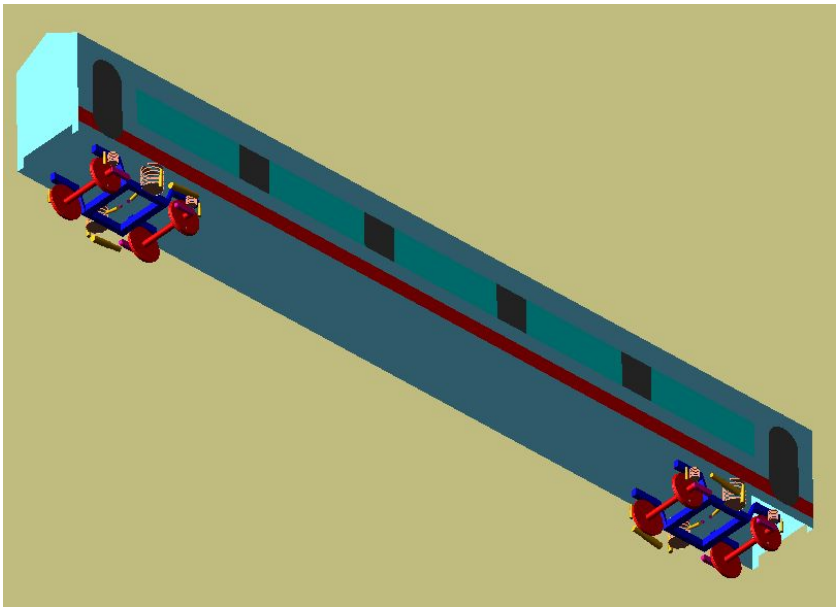

Fig. 1 Vagon de pasageri – model numeric MBS

Deşi interfaţa de vizualizare a modelului pare relativ săracă, în realitate modul de reprezentare „wireframe” sau „shaded” este tipic programelor de tip MBS deoarece nu se doreşte o reprezentare fidelă din punct de vedere geometric a vehiculului ci, vizualizarea forţelor care apar la contactul roată – şină sau pe durata diferitelor fenomene dinamice care sunt simulate. Osia montată poate fi editată atât din punct de vedere al dimensiunilor şi maselor cât şi din punct de vedere al profilului roţii. Se pot modela atât roţi fără defecte cât şi roţi cu defecte (cu locuri plane de exemplu). Cutiile de osie, pot fi la exteriorul sau la interiorul roţilor în funcţie de construcţia modelului. Din punct de vedere al elementelor de suspensie, în afară de arcuri elicoidale şi amortizoare, se mai pot modela arcuri pneumatice, silent blocuri etc. Arcurile în foi se construiesc ca sisteme echivalente de arcuri elicoidale şi amortizoare.

Modelele se pot crea şi în alte programe cum ar fi de exemplu programele de CAD sau ADAMS/View dar, la exportul/importul de fişiere se pierde parametrizarea modelului.

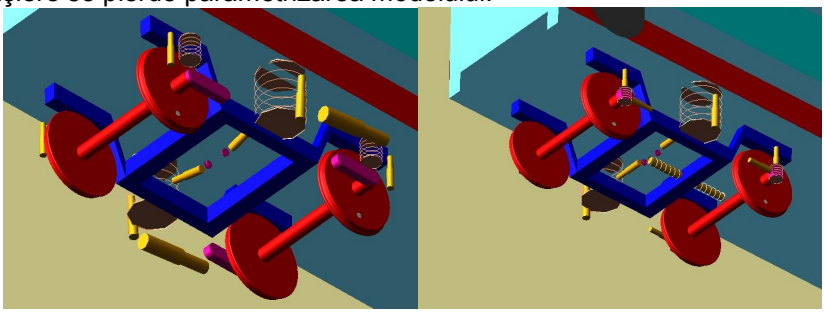

Fig. 2 Tipuri de boghiuri parametrizate în Adams/Rail

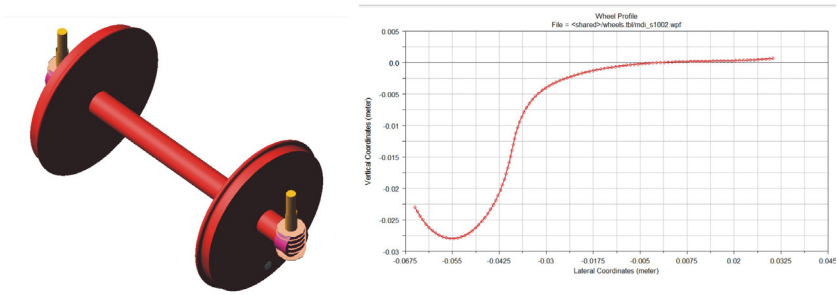

Fig. 3 Osie montată, profilul roţii

3. Tipuri de analize ce se pot efectua în Adams/Rail

Cu ajutorul programului ADAMS/Rail se pot efectua:
- analize pentru calculul forţelor de pretensionare din suspensie;
- analize liniare;
- analize de stabilitate;
- analize dinamice.

Analiza pentru calculul forţelor de pretensionare este efectuată pentru a calcula - aşa cum îi spune şi numele - forţele din suspensia vehiculului. Este prima analiză care se recomandă a fi efectuată pe un model nou creat. Analiza se efectuează după analiza statică, în scopul de a verifica că sunt întrunite condiţiile impuse la proiectare.

Analiza liniară este efectuată pentru calcularea valorilor proprii. Pentru acest tip de analiză, ADAMS/Rail fixează temporar osiile

montate şi roţile vehiculului de pământ cu ajutorul unor articulaţii fixe. După finalizarea analizei, se pot imprima rezultatele sau se pot vizualiza ca animaţie.

Analiza de stabilitate este efectuată pentru a investiga stabilitatea vehiculului pentru diferite viteze şi diferite configuraţii ale contactului roată şină. Aceste informaţii ajută la determinarea vitezei critice a vehiculului.

Analiza dinamică este efectuată pentru analiza circulaţiei în curbe, a posibilităţilor de deraiere, confort, stabilitate dinamică în funcţie de fişierele căii şi ale contactului care sunt introduse.

Calea de rulare poate fi editată atât din punct de vedere al şinelor de cale ferată cât şi al geometriei căii. În figura 4 este prezentat profilul în plan al unei linii curbe precum şi profilul transversal al şinei din dreapta. Fiecare şină se poate edita separat pentru a introduce abateri.

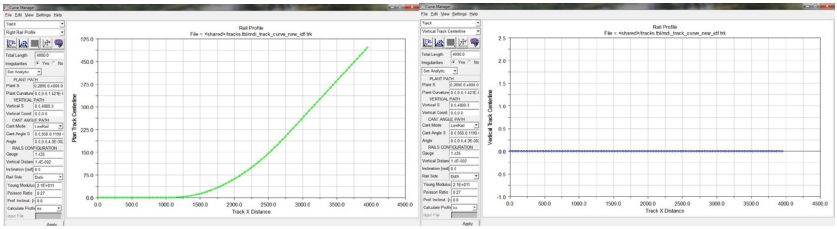

Fig. 4 Calea de rulare care se poate utiliza la una dintre analize

Contactul roată – şină este definit de elementul roată – şină care descrie cinematica unei roţi faţă de şină. Din acest element derivă trei tipuri de elemente care diferă în funcţie de modul cum este descrisă cinematica roată – şină. Astfel pentru a modela o osie montată, se utilizează două elemente roată – şină: unul pentru partea dreaptă, altul pentru partea stângă. Se poate modela şi contactul ce produce între buză şi contraşină.

4. Efectuarea unei analize dinamice

Pentru efectuarea unei analize în regim dinamic, se aleg trei elemente esenţiale: vehiculul, calea de rulare şi elementul de contact roată – şină.

Spre exemplu, pentru vagonul prezentat în figura 1, dorim să aflăm dacă se produce deraierea la circulaţia cu o anumită viteză pe sectorul de linie prezentat în figura 4. Pentru a rula, programul are

nevoie de câteva date suplimentare care se referă la durata în timp a analizei şi numărul de paşi în care dorim ca ea să fie efectuată. Un alt parametru utilizat ca dată de intrare îl reprezintă viteza de circulaţie pe sectorul de linie. Viteza se introduce în m/s astfel că o valoarea „50” înseamnă 50 m/s respectiv 180 km/h. Pe durata rezolvării problemei, în fereastra principală a programului se poate vedea evoluţia rezolvării. Datele care se pot vizualiza pot fi salvate ca fişier text sau se pot tipări pentru a se utiliza în cadrul unui raport de analiză. De remarcat că programul lucrează foarte mult cu fişiere de tip text, astfel că editarea anumitor parametri este facilă.

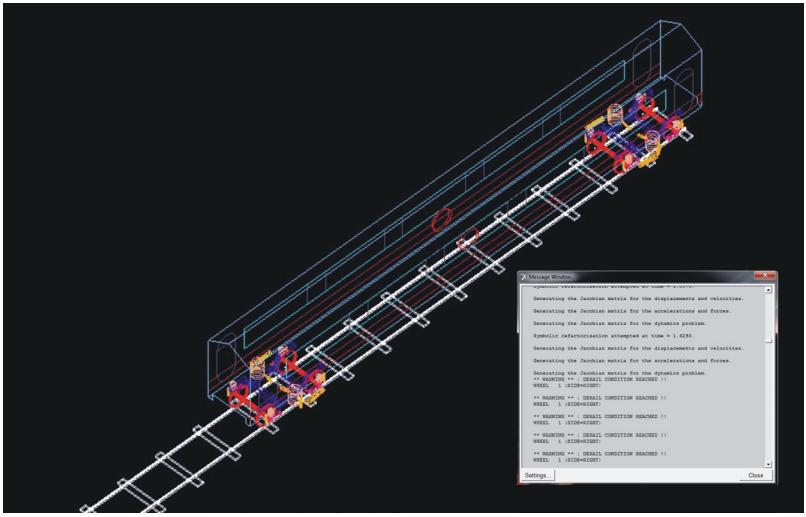

Fig. 5 Reprezentare wireframe a vehiculului pe cale de rulare

5. Vizualizarea şi postprocesarea rezultatelor

În figura 5 se poate observa că, la o viteză impusă de 50 m/s se ating condiţiile de producere a deraierii. Pentru vizualizarea şi procesarea rezultatelor se pot utiliza două interfeţe în funcţie de ceea ce dorim de la program. Spre exemplu, dacă dorim o simplă animaţie a modului cum rulează vehiculul pe cale, aceasta se poate realiza direct în interfaţa în care s-a lucrat şi până acum. În figura 6 este prezentat un cadru dintr-o astfel de animaţie. În schimb dacă ne dorim construirea unor grafice, este necesară postprocesarea rezultatelor; trecerea la această interfaţă se face în mod direct, astfel că avem deja încărcate datele rezultate ca urmare a analizei efectuate.

Postprocesarea rezultatelor permite salvarea unor fişiere video, fişiere grafice, tabelare etc. cu rezultatele obţinute pe durata simulării. În figura 7 se poate observa descărcarea roţilor din faţă şi din spate de pe partea stângă a vehiculului. Descărcarea roţilor din faţă şi din spate pe partea dreaptă a vehiculului este prezentată în figura 8. Momentul apariţiei deraierii la osia atacantă se poate vedea în figura 9.

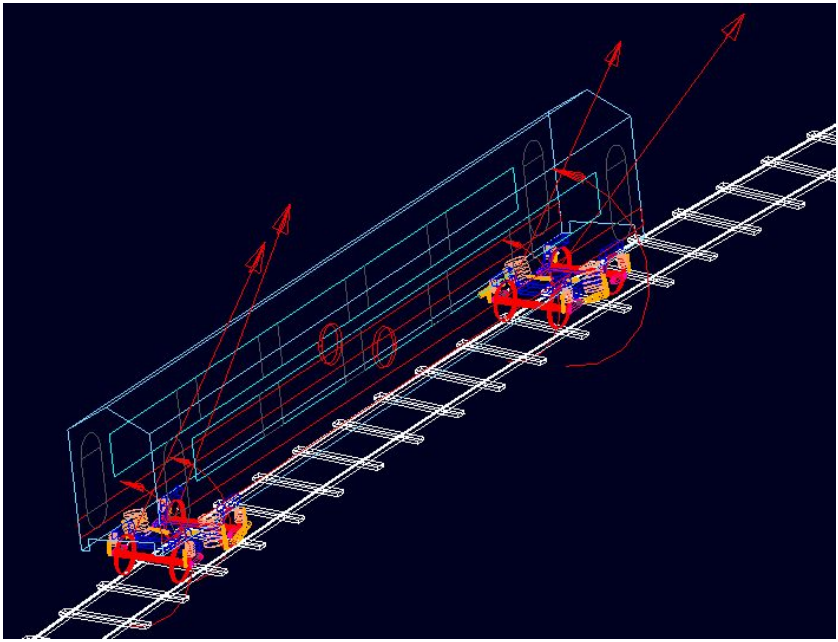

Fig. 6 Forţele care apar la contactul roată - şină

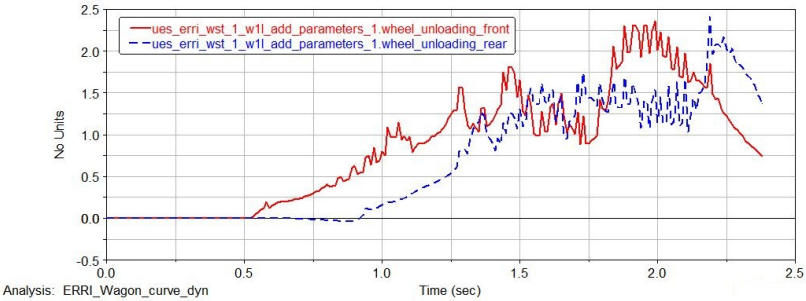

Fig. 7 Producerea deraierii pentru roţile faţă/spate stânga

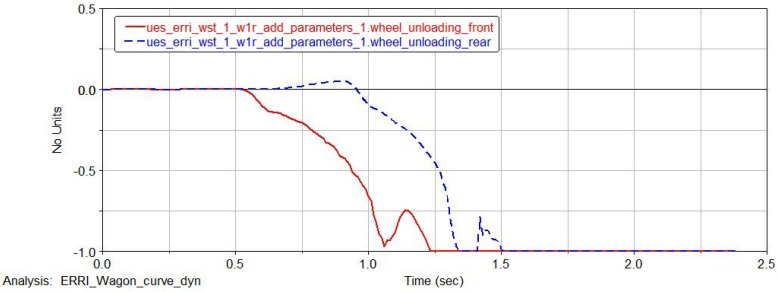

Fig. 8 Producerea deraierii pentru roţile faţă/spate dreapta

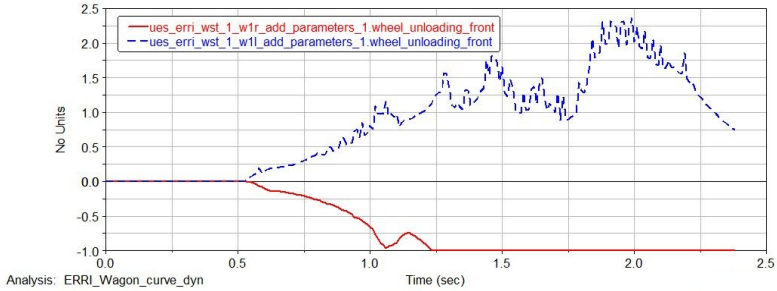

Fig. 9 Producerea deraierii la osia atacantă

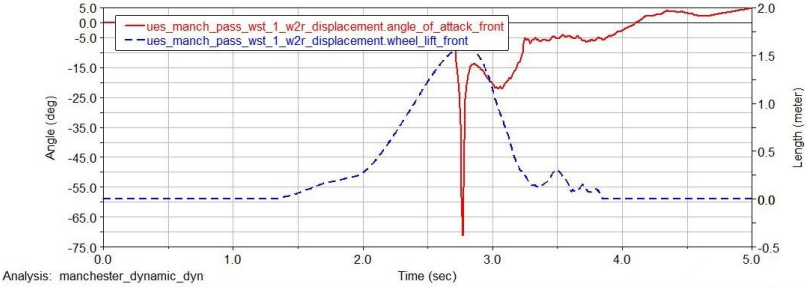

Fig. 10 Reprezentare grafică a altor parametri calculaţi de program

6. Concluzii

■ Programele de tip MBS se pot utiliza cu succes atât în procesul de proiectare al vehiculelor feroviare cât şi în cercetări efectuate la nivel academic. Programul se poate utiliza cu succes de către doctoranzii

care doresc să studieze aspectele legate de dinamica rulării vehiculelor de cale ferată. Aşa cum aplicaţiile create pentru a lucra cu metoda elementelor finite (FEA) reprezintă transpunerea pe calculator a calculului structural (şi nu numai), programele MBS reprezintă o transpunere a studiului mecanismelor sau a corpurilor aflate în mişcare în mediul virtual. Modulul ADAMS/View se poate utiliza cu succes în studiul diferitelor mecanisme care se află pe un vehicul feroviar, cum ar fi de exemplu timoneria frânei [6]. Din păcate, programele MBS sunt mai puţin răspândite din punct de vedere al utilizării dacă ne raportăm la aplicaţiile CAD sau FEA. În plus tot ca un minus al acestor aplicaţii, îl reprezintă lipsa documentaţiei pe suport electronic sau pe hârtie. Dacă m-aş raporta strict la aplicaţiile utilizate de mine, pot spune că documentaţia oferită în format electronic cât şi la liber pe Internet pe site-urile diferitelor universităţi din lume fac din aplicaţii precum Ansys, Catia sau Solidworks programe uşor de învăţat pentru un cercetător. O lipsă a programului în versiunea din anul 2005 a reprezentant-o posibilitatea de a plota contactul care se produce între roată şi şină.

■ Manchester Metropolitan University (MMU) a dezvoltat sub coordonarea profesorului Simon Iwnicki, „Manchester Benchmarks for Rail Vehicle Simulation”. Acest proiect reprezintă o platformă de testare pentru aplicaţiile MBS feroviare pornind de la date de intrare comune şi cerinţe comune. S-a stabilit astfel un referenţiar pentru aceste programe atât din punct de vedere al utilizării unor algoritmi rapizi de calcul cât şi din punct de vedere al reproducerii fenomenelor din standul de probe virtual.

■ Programul Universal Mechanism dezvoltat de Universitatea din Briansk (Rusia) este unul dintre concurenţii care au rulat aplicaţia propusă de mmU [2]. Ca şi ADAMS, Universal Mechanism reprezintă un pachet de programe care încearcă să acopere cât mai multe domenii inginereşti. În domeniul feroviar, Universal Mechanism oferă două aplicaţii dintre care una similară ADAMS/Rail şi alta care se adresează celor care doresc să studieze aspecte legate de dinamica longitudinală a trenurilor. Din fericire, aceste programe nu sunt restricţionate din punct de vedere a „template-urilor” oferite numai la modele ruseşti (cupla automată spre exemplu), programul permiţând şi modelarea aparatelor de tamponare respectiv a aparatelor de legare.

■ Indiferent de aplicaţia aleasă pentru studiul dinamicii vehiculelor feroviare trebuie remarcată structura arborescentă a vehiculului formată din osia 1,…, osia n, boghiul 1,…, boghiul n şi apoi cutia vehiculului. Modalităţile de generare ale fişierelor ce reprezintă calea de rulare diferă de la un program la altul la fel şi alegerea şi

personalizarea fişierelor care simulează contactul roată – şină. După construirea modelului virtual, în scopul utilizării în studii de cercetare este obligatoriu ca acesta să fie validat cu un vehicul real.

BIBLIOGRAFIE

[1] Iwnicki, S., *Handbook of railway vehicle dynamics*, CRC press, ISBN 0-8493-3321-0, Boca Raton, S.U.A., 2006.
[2] Mazilu, T., *Vibraţii roată-şină*, Editura MatrixRom, ISBN 978-973-755-332-4, Bucureşti, 2008.
[3] Mazilu, T., *An Analysis of Bogie Hunting Instability*, U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 71, Iss. 2, 2009, ISSN 1454-2358, Bucureşti, 2009.
[4] Sebeşan, I., *Dinamica vehiculelor de cale ferată,* Editura tehnică, ISBN 973-31-0919-3, Bucureşti 1996.
[5] Shabana, A.A., Zaazaa, K.E., Sugiyama, H., *Railroad Vehicle Dynamics: A Computational Approach*, CRC Press ISBN 978-1-4200-4581-9.
[6] Thomson, D., *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control,* Elsevier, ISBN 978-1-4200-4581-1, Boca Raton, 2009.
[7] Zaharia, N.L., *Determinarea comportamentului dinamic al vehiculelor feroviare cu ajutorul programelor MBS*, Simpozionul Naţional de Material Rulant de Cale Ferată, Ediţia a X-a, SNMRCF 2012, Bucureşti 23-24 noiembrie 2012, ISSN 1843-9888.

Dr.Ing. Nicuşor Laurenţiu ZAHARIA
Membru AGIR
Autoritatea Feroviară Română – AFER Bucureşti
Calea Griviţei nr. 393, sector 1,
010719, Bucureşti
laurentiu@afer.ro