

# CONSIDERAȚII PRIVIND PERFORMANȚELE DINAMICE ALE VEHICULELOR DE CALE FERATĂ CU BOGHIURI AVÂND OSILE ORIENTABILE

## CONSIDERATIONS ON THE DYNAMIC PERFORMANCE OF RAILWAY VEHICLES WITH ADJUSTABLE AXLES

prof. univ. dr. ing. Ioan SEBEȘAN, drd.ing. George MICU, drd.ing. Vlad GHEORGHIȚĂ,  
drd.ing. Daniel BUȘE

### Rezumatul lucrării

În lucrare sunt prezentate o serie de considerații științifice care au stat la baza ultimei generații de boghiuri cu osii orientabile, capabile să ”negocieze razele de curbura ale căii de rulare”. Se urmărește astfel dezideratul ”rulării pure”.

Prin orientarea radială a osiei se elimină alunecările transversale dintre roți și șine, iar dacă rularea este conică se elimină alunecările longitudinale, existând posibilitatea înlăturării frecărilor și, deci, a uzurilor.

Cum acest deziderat este ideal, apropierea de o ”rulare pură” este posibilă și astfel, pe lângă o reducere a frecărilor ce îmbunătățesc performanțele dinamice ale vehiculului, crește și siguranța ghidării în cale a vehiculului.

Cuvinte cheie: boghiuri cu osii orientabile, frecare, rulare, vehicul

### Abstract:

The paper presents a series of scientific considerations that formed the basis of the latest generation of bogies with adjustable axles, capable of "negotiating the radii of curvature of the roadway." This aims at the goal of "pure running".

The radial orientation of the axle eliminates the transverse slips between the wheels and the rails, and if the rolling is conical, the longitudinal slips are eliminated, with the possibility of removing friction and, therefore, wear.

As this desideratum is ideal, the approach to a "pure running" is possible and thus, in addition to a reduction of frictions that improve the dynamic performance of the vehicle, also increases the safety of driving the vehicle on the road.

**Keywords:** bogies with adjustable axles, friction, rolling, vehicle

## 1. Considerații generale

Dispozitivele clasice de rulare, cu osii fixe în raport cu șasiul, au avut la bază concepția că, prin ghidarea osiilor cu menținerea paralelă a acestora, se asigură stabilitatea transversală a vehiculului și, totodată, se reduc solicitările exercitate de buzele roților asupra șinelor în curbe. După cum s-a arătat, la vehiculele cu osii fixe, conducerea în curbe se realizează prin forțe exercitate asupra buzelor roților, producându-se alunecări longitudinale și transversale, care au ca efect producere unor uzuri importante a suprafețelor de rulare și a buzelor roților, precum și a șinelor.

În scopul îmbunătățirii calităților de rulare a vehiculelor, cercetările din ultimii ani s-au orientat spre sistemele de conducere elastică a osiilor, atenția îndreptându-se asupra posibilităților de autoghidare a osiilor montate. Orientarea nouă în concepția boghiurilor, constă în crearea aptitudinii de negociere a razelor de curbura prin așezarea în poziție radială a osiilor, fără a fi însă afectată stabilitatea

transversală a vehiculului în aliniament. Se urmărește ca vehiculul să poată circula într-o curbă de rază mică, fără alunecări și fără contact între buză și șină, eliminându-se astfel riscul deraierii și, totodată reducându-se considerabil uzurile și consumul de energie pentru tracțiune.

Se prezintă și realizări constructive, respectiv boghiurile utilizate la metroul din București, IVA și Bombardier.

Alunecările, atât transversale, cât și longitudinale, pot fi înlăturate dacă se dă posibilitatea osiei montate de a se așeza radial și, totodată, de a se deplasa transversal astfel încât aceasta să aibă o mișcare de rulare pură. Astfel, într-o curbă de raza  $R$ , rularea pură a unei osii cu conicitatea efectivă  $\gamma$  se realizează la un decalaj al osiei montate din poziția mediană în cale:

$$y_{c0} = \frac{er}{\gamma R} = \frac{er}{\gamma_0 R} \cdot \frac{\rho_r - \rho_s}{\rho_r} \quad (1)$$

în care pentru poziția mediană a osiei,  $r$  reprezintă raza cercului efectiv de rulare;

$\gamma_0$  – unghiul de flanc al suprafeței de rulare;  $\rho_r$  și  $\rho_s$  reprezintă razele de curbura ale profilului roții și, respectiv, al șinei.

Profilul roții reprezintă o importanță deosebită, atât în ceea ce privește posibilitatea de rulare pură în curbe de raze mici, cât și a producerii unei forțe de centraj (numită și forță gravitațională), cu efect de stabilizare a mișcărilor transversale ale osiei și de reducere a eforturilor exercitate asupra căii. Aceste cerințe nu pot fi satisfăcute decât dacă se folosesc roți cu profiluri de uzură care sunt superioare celor conice, atât din punctul de vedere al mărimii conicității efective, cât și prin faptul că numai acestea pot produce forțe de centraj. Forța de centraj  $C$ , putând fi considerată proporțională cu decalajul  $y$  la valori mici ale acestuia, se comportă ca o forță elastică produsă de un arc cu rigiditatea (constanta elastică de centraj):

$$c_y = \frac{2Q\gamma}{\gamma_0 \rho_r} = \frac{2Q}{\rho_r - \rho_s} \quad (2)$$

Forța centrifugă care se exercită asupra osiei montate acționează în sens contrar forței de centraj, astfel că există o viteză la care osia cu profil de uzură la roți poate realiza rularea pură fără atingerea buzei de flancul interior al șinei.

În cazul în care osia vehiculului are roțile cu profiluri de uzură, forțele tangențiale  $T_x$  acționează în sensul mișcării unghiului de atac  $\alpha$  (fig. 1), orientând astfel osia spre poziția radială, corespunzătoare, la care forța tangențială  $T_y$  devine nulă. Această proprietate la care se adaugă și efectul de centraj sunt caracteristici fundamentale ale osiilor numite orientabile.

Considerații privind performanțele dinamice ale  
vehiculelor de cale ferată cu boghiuri având osiile orientabile

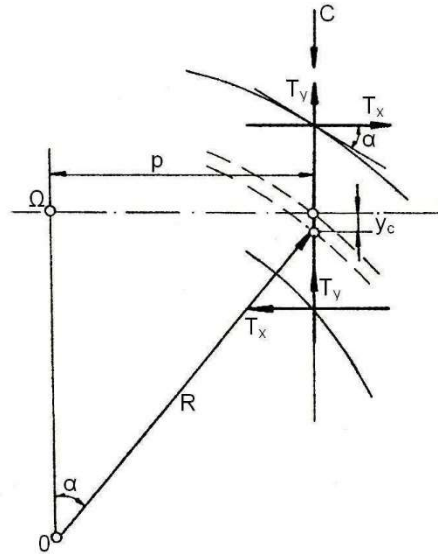


Fig. 1 – Osie cu profil de uzură în curbă

## 2. Boghiuri cu osii conjugate

Pentru a asigura orientarea radială a osiilor la circulația în curbe, H. Sheffel a conceput un boghiu la care osiile sunt conjugate prin legături de tip bissel elastic lateral și articulate la vârfuri (fig. 2.a). În felul acesta se realizează o reducere a mișcărilor de șerpuire a osiilor prin faptul că o rotație de șerpuire a unei osii provoacă apariția unui moment care, exercitându-se asupra celeilalte osii, o va deplasa în sens opus. S-a realizat în felul acesta o stabilizare a osiilor, numită <sup>2</sup>în raport cu solul<sup>2</sup>, sistemul elastic astfel conceput opunându-se deplasărilor transversale și unghiulare relative între cele două osii. Aceleași efecte se obțin și prin conjugarea osiilor cu bare așezate în cruce (fig. 2.b).

În continuare se va determina rigiditatea longitudinală  $c_x$  a sistemului de ghidare cu bare așezate în cruce, cu cuplaj transversal relativ rigid între osii, astfel încât să se asigure boghiului circulația în curbe fără contact al buzelor roților cu șinele. O astfel de condiție nu poate fi realizată decât în cazul în care roțile au profiluri de uzură.

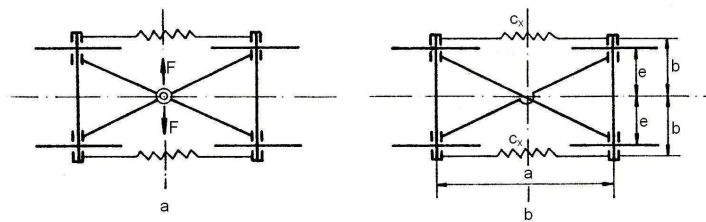


Fig. 2 – Sisteme de conjugare a osiilor concepute de Scheffel  
a – prin bare articulate; b – prin bare așezate în cruce

## 3. Boghiuri cu osii conduse elastic

La sistemele <sup>2</sup>cu orientare naturală a osiilor<sup>2</sup>, orientabilitatea radială a osiilor este favorizată prin conducerea longitudinală a acestora (fig. 3).

Pentru un boghiu cu conducere elastică a osiilor, ca cel reprezentat în figura 3, se va analiza înscrierea în curbă presupunând că s-a stabilit un regim de circulație staționar, cvasistatic.

O lucrare de referință care tratează această problemă a fost elaborată de D.E. Newland.

Se presupune că sub acțiunea unei forțe exterioare  $F_n$  și a forțelor de contact dintre roți și șine boghiul se așază în curbă în poziția din figura 3, osiile făcând cu normalele la curbă unghiurile (de atac)  $\alpha_1$ , și respectiv,  $\alpha_2$ . De asemenea, se presupune că nu apar alunecări mari ale roților (cu profil de uzură), ci pseudoalunecări proporționale cu forțele de contact și că forțele de centraj pot asigura rularea osiilor fără contact pe buze.

Față de axa căii, centrele osiilor sunt decalate spre exterior cu  $y_{c1}$ , și respectiv, cu  $y_{c2}$  iar șasiul boghiului, redus la axa sa longitudinală, este decalat în dreptul osiilor cu  $y_{c1}$ , și respectiv,  $y_{c2}$ .

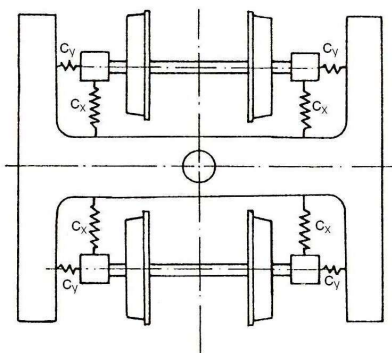


Fig. 3 – Boghiu cu conducere elastică a osiilor

#### 4. Aspecte constructive ale boghiurilor cu osii orientabile din țara noastră

O importanță deosebită pentru dinamica vehiculului, în direcție transversală, o are sistemul de legătură între cadrul boghiului și cutia de osie. Sistemul de conducere (de ghidare) a osiei trebuie să transmită forțele care acționează în plan orizontal, fără a împiedica funcționarea suspensiei, asigurând totodată și o poziție corectă a osiei în cale și față de vehicul.

Boghiurile motoare trebuie să suporte forțe longitudinale mari (de tracțiune și frânare) și să asigure o poziție stabilă a osiei în raport cu sistemul de antrenare al acestuia.

Sistemul de conducere rigidă al osiilor, având ca efect o mărire a lungimii de undă la mișcările de șerpuire, au dat rezultate satisfăcătoare până la viteze de circa 140 km/oră.

La viteze mari s-a dovedit a fi mai avantajoasă conducerea elastică a osiilor, atât în direcție transversală, cât și longitudinală.

La vehiculele moderne, aceasta se realizează cu ajutorul elementelor elastice din cauciuc care, prin capacitatea proprie de amortizare, contribuie la reducerea mișcărilor sinusoidale ale osiilor și totodată asigură o așezare radială a osiilor la circulația în curbe.

La boghiul Y 32 (figura 4) brațul de conducere 1 este legat de cadrul boghiului 2 prin intermediul silent-block 3, de formă biconică, cu posibilități de modificare a elasticității longitudinale și transversale prin strângerea pieselor conice 4.

Considerații privind performanțele dinamice ale  
vehiculelor de cale ferată cu boghiuri având osiile orientabile

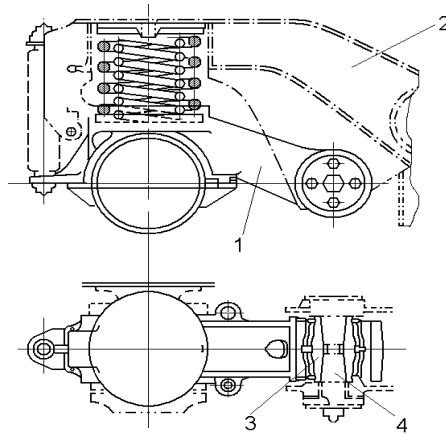


Fig. 4 – Sistem de conducere articulat prin intermediul unui silent-block cu posibilități de reglare a elasticităților

Influența rigidității suspensiei osiilor longitudinale  $c_x$  și transversală  $c_y$ , asupra valorii vitezei critice, se poate vedea în figura 5 unde s-au reprezentat curbele de izoviteze critice obținute experimental cu boghiul Y 32.

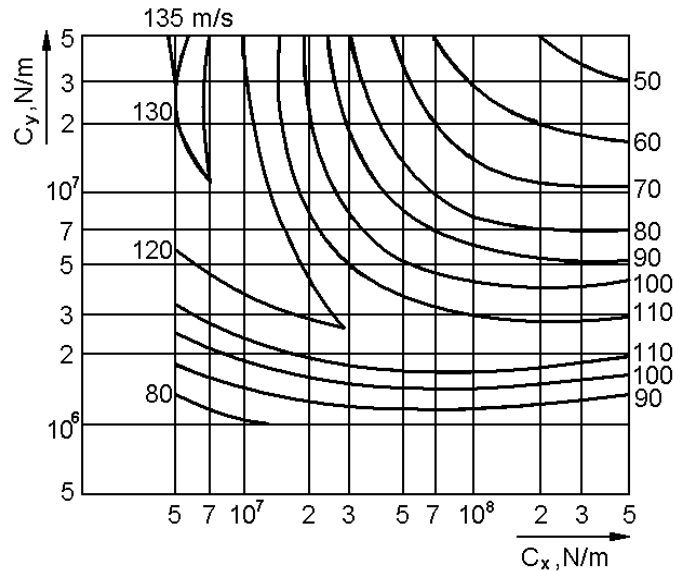


Fig. 5 – Curbele de izoviteze critice la boghiul Y 32

Noua orientare în construcția boghiurilor constă în realizarea posibilității de negociere a razelor de curbură, fiecare dintre osiile boghiului așezându-se în poziție radială. Astfel, se produc uzurile suprafețelor de rulare și a buzelor, respectiv a flancurilor de șine, dar se impune să nu se producă instabilități de șerpuire. Pentru aceasta trebuie creat în primul rând un profil de rulare corespunzător și o conjugare în diagonală a poziției cutiilor de osii față de cadrul boghiului.

Conducerea elastică a osiei și crearea posibilităților de așezare radială a acesteia la mersul în curbe sta la baza construcției actualelor tipuri de boghiuri pentru viteze mari.

În figura 6 se prezintă schema de principiu a unui boghiu motor din noua generație cu osii orientabile.

În unele construcții moderne de material rulant, sistemul de suspensie utilizează, în locul arcurilor clasice din oțel, elemente elastice din cauciuc sau pneumatice.

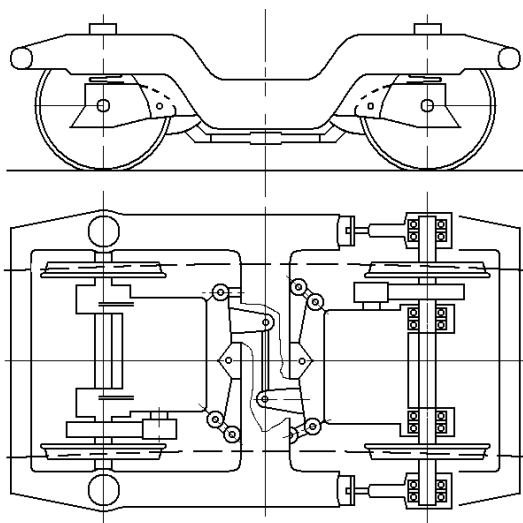


Fig. 6 – Schemă de boghiu motor cu osii orientabile

În figura 7 se prezintă o construcție modernă de boghiu, larg răspândită în prezent în Europa, America și Japonia, constructiv adoptată și la metroul din București. Cadrul rigid al boghiului 1 se sprijină pe fiecare lagăr de osie prin intermediul unei perechi de arcuri din cauciuc 2, care, fără a necesita ghidaje sau legături suplimentare, preiau, în mod elastic eforturile verticale (sarcina vehiculului), eforturile longitudinale (tracțiune, frânare) și eforturile transversale (de ghidare laterală). Suspensia centrală se realizează cu perne pneumatice 3 între cadrul boghiului și transversala dansantă 4, perne pneumatice care sunt controlate de ventilele de nivel 5 și având rezervoare auxiliare de aer 6. Preluarea sarcinilor verticale se face cu o rigiditate progresivă a pernei, fapt care asigură un coeficient de confort bun pentru diferite valori ale sarcinii, iar ventilele de nivel mențin constantă înălțimea caroseriei față de calea de rulare, indiferent de starea de încărcare cu sarcina utilă. Transmiterea eforturilor de tracțiune–frânare se face prin bielete longitudinale 7, montate între traversa dansanta și cadrul boghiului prin articulații cu bușe de cauciuc.

În sens transversal, forțele de rapel cu valori reduse sunt asigurate de însăși perna pneumatică și de rigiditatea bușelor de cauciuc de la articulațiile bieletelor longitudinale. Pentru eforturi de rapel mai mari, se adaugă rigiditatea unor tamponi din cauciuc, care, la comprimare maximă servesc și ca limitatoare ale deplasărilor transversale ale caroseriei față de boghiu. În privința amortizării vibrațiilor, suspensia osiilor cu elemente elastice din cauciuc asigură un grad suficient de amortizare pentru circulația cu viteze medii, dar reclamă, în anumite situații, o amortizare suplimentară (hidraulică) 9, pentru viteze ridicate. În etajul secundar, perna hidraulică cu autoamortizare realizează un factor de amortizare convenabil pe verticală și care poate fi ușor corectat, dar necesită o amortizare suplimentară în sens transversal 10.

## Considerații privind performanțele dinamice ale vehiculelor de cale ferată cu boghiuri având osiile orientabile

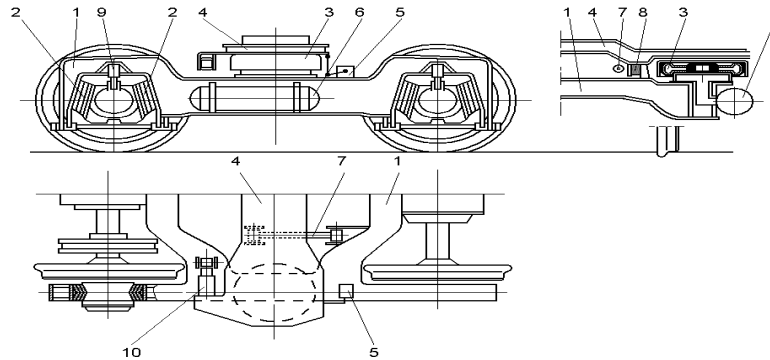


Fig. 7 – Boghiu motor utilizat la ramele electrice ale metroului din București

Cu o alegere judicioasă a rigidităților în cele două etaje de suspensie, asemenea construcții de boghiuri pot fi utilizate la viteze ridicate la vagoanele de cale ferată, rame electrice, etc., atât ca boghiuri purtătoare, cât și ca boghiuri motoare, construcția asigurând spațiile necesare pentru amplasarea agregatelor de tracțiune și frânare.

Un exemplu de vehicul cu conducere elastică a osiilor, îl reprezintă și boghiul motor Bombardier, prezent la trenurile Metrorex (figura 8).

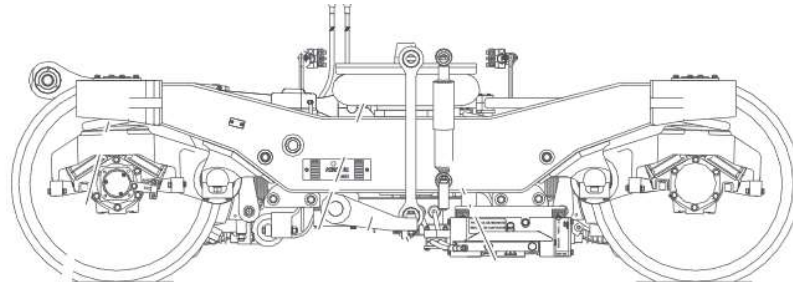


Fig. 8 – Boghiu motor utilizat la ramele Bombardier ale metroului din București

### 5. Concluzii

Lucrarea prezintă necesitatea rulării cu forțe de frecare redresare la contactul roată – șină, posibilitățile tehnice de realizare a acestui deziderat prin asigurarea orientabilității osiilor. Totodată, sunt evidențiate cele două variante constructive cu osiile conjugate și cele cu osiile conduse elastic. Se prezintă și unele construcții din țara noastră, ca de exemplu vehiculele de metrou de la Astra Arad și Bombardier, precum și boghiul Y 32 care echipează vagoanele de călători de pe rețeaua CFR.

Cum asigurarea unei ghidări corecte în cale cu osii orientate intră în contradicție cu realizarea unei viteze critice la șerpuire ridicată, se caută o cale de mijloc care constă în adoptarea unor elasticități ale sistemului de ghidare care să asigure, atât o cvasiorientabilitate în curbe, dar și viteze maxime în siguranță la circulația în aliniament. Urmează să se extindă studiul pe această problemă într-o viitoare lucrare.

**Bibliografie**

1. Sebeșan I, *Tratat de dinamica vehiculelor feroviare*, Ed. Academiei Române, 2021
2. Sebeșan I., Băiașu D., *Modele mecanice în dinamica vehiculelor feroviare*, Ed. Academiei Române, Buc. 2014.
3. Sheffer H, *Conceptions nouvelles relatives aux dispositifs de suspension des véhicules ferroviaires*. *Rail International*, dec. 1974
4. Newland D., E. *Steering – A Flexible Railway Truck on curved Track*, *Transaction of ASME*, aug. 1969.