

APRECIERI ȘI COMPARAȚII ÎNTRE SISTEMUL CLASIC ROATĂ-ȘINĂ ȘI SISTEMUL PRIN SUSTENTAȚIE MAGNETICĂ LA VEHICULELE FERROVIARE

Prof. dr. ing. Ion COPACI
Universitatea „Aurel Vlaicu” din
Arad



Este absolvent al Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, Facultatea de Mecanică, specialitatea Utilajul și tehnologia sudurii (1969). A obținut titlul de doctor inginer în domeniul Inginerie mecanică „Locomotive și vagoane” în anul 1996. A lucrat ca inginer la Combinatul Chimic Arad (1969-1974), ca cercetător științific principal II la Institutul de Cercetare și Proiectare Vagoane Arad (1974-1997) și cadru universitar la Facultatea de Inginerie, Universitatea „Aurel Vlaicu” din Arad (1997-2008). A publicat 6 cărți, peste 150 de articole științifice în țară și în străinătate. Este autor sau coautor la 4 brevete de invenție și a contribuit la rezolvarea a peste 280 contracte de cercetare. Din anul 2008 este membru al Academiei de Științe a Ucrainei.

Ș.I. dr. ing. Aurelia TĂNĂSOIU
Universitatea „Aurel Vlaicu” din
Arad



Este absolventă al Institutului Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, Facultatea de Mecanică, Specialitatea Material Rulant de Cale Ferată (1983). A obținut titlul de doctor inginer 2007, domeniul Transporturi. A lucrat ca inginer la Uzina de Vagoane Arad Arad (1983-1997), cadru didactic la Facultatea de Inginerie, Universitatea „Aurel Vlaicu” Arad (1997-2008). A publicat 1 carte și peste 40 articole științifice în țară și străinătate. A contribuit la rezolvarea a 5 proiecte de cercetare.

REZUMAT. Cele două sisteme de transport, cel convențional caracterizat prin sistemul roată-șină și sistemul prin sustentație magnetică au ca factor distinctiv fundamental modul de realizare al susținerii, tracțiunii și propulsiei vehiculelor pe calea de rulare alături de ghidarea necesară și obligatorie. Fiecare din cele două sisteme de tracțiune prezintă avantaje și dezavantaje. Lucrarea își propune să facă o analiză comparativă din punct de vedere al infrastructurii vehiculelor, siguranței ghidării și dinamicii rulării ca aspecte tehnice alături de implicațiile economice ce pot decide și în acest caz opțiunea asupra sistemului adoptat.

Cuvinte cheie: sistem prin sustentație magnetică, ghidare, dinamica rulării.

ABSTRACT. The two transport systems, the conventional one characterized by the wheel-rail system and the magnetic levitation system have, as a fundamental distinctive factor, the method of obtaining sustentation, traction and propulsion of vehicles on the railway, including the necessary and fundamentally mandatory guidance. Each of the two traction systems has advantages and disadvantages. The paper aims to analyze and compare these two systems, from the point of view of infrastructure of the vehicles, guidance safety and travel dynamics as technical aspects, together with the economical implications which can also decide the optimal system to adopt.

Keywords: magnetic levitation system, guidance, travel dynamics.

1. INTRODUCERE

Prezenta lucrare, prezintă aspecte ale dinamicii vehiculelor feroviare, în speță cele referitoare la excitațiile provocate de sistemul de rulare, contactul roată – șină. Este de asemenea tratată și problema sistemelor neconvenționale, sisteme de transport având la bază tehnologia de tip MAGLEV.

Transportul, în special transportul feroviar care, are o pondere importantă în majoritatea țărilor din lume și din Europa, se confruntă la ora actuală cu probleme legate de creșterea capacităților de transport, a vitezelor de circulație, precum și a costurilor, concomitent cu sporirea confortului pasagerilor, cu asigurarea unei depline siguranțe a bunurilor transportate și garantarea unei siguranțe a circulației depline.

Viteza de circulație și tonajele sporite ale trenurilor moderne, supun părțile componente ale căii ferate și vehiculelor, unor solicitări dinamice crescute. Neregularitățile roților și a șinelor produc de asemenea sarcini dinamice substanțiale, sarcini de care trebuie să se țină seama la atât la proiectarea și construcția căii ferate cât și ale vehiculelor feroviare. Astfel, un rol esențial în proiectarea și construcția sistemelor de transport ghidate pe cale, convenționale și neconvenționale, este reprezentat de dinamica rulării, în speță realizarea performanțelor dinamice în condițiile impuse de siguranța circulației. Abordarea problemelor de dinamică, a influenței excitațiilor provocate de sistemului de rulare asupra dinamicii vehiculelor, trebuie să se facă în directă concordanță cu nivelul vitezelor de circulație, a sarcinilor pe osie și a siguranței circulației, atât pentru sistemul clasic roată-șină cât și particularizând pentru sistemele neconvenționale.

2. SISTEME DE TRANSPORT FEROVIAR

Sistemul de transport feroviar de tip contact roată-șină a dobândit succese în competiția cu celelalte sisteme de transport în măsura în care a reușit să ratifice și să tranșeze valabilitatea lui din punct de vedere economic. Astfel au putut fi promovate trenurile pentru transport feroviar de mare viteză cu performanțe de ordin social și economic cum este ICE3 având o viteză maximă de 368 km/h [1], [2], [3], [6].

Sistemul de transport feroviar cu sustentație magnetică de tip MAGLEV s-a născut ca o alternativă a sistemului

roată-șină existând o serie de tentative de promovare [4], [5] (fig. 2).

Viteza de circulație prevăzută pentru sistemul Transrapid se situează în intervalul 500 – 550 km/h. Pentru atingerea unor viteze de circulație superioare ale sistemului (lungimea căii/timpul parcursului), sunt necesare pe lângă timpi de oprire mai reduși, accelerații respectiv decelerații de valori mai mari și viteze maxime de circulație superioare. Transrapidul este capabil de a accelera într-un interval de 60 s de la 0 la 200 km/h și în următoarele 60 s să atingă viteza de 400 km/h. Pentru a accelera de la viteza de 300 km/h vehiculul necesită un spațiu de circa 5 km lungime (în cazul liniei din Shanghai de 4,2 km). Sistemul permite negocierea declivităților de 10‰, prezentând astfel un avantaj clar asupra geometriei oricărei căi de rulare clasice.

3. APRECIERI ȘI COMPARAȚII ÎNTRE SISTEMUL CLASIC ROATĂ – ȘINĂ ȘI SISTEMUL DE TIP MAGLEV PRIN SUSTENTAȚIE MAGNETICĂ

3.1. Avantaje și dezavantaje

Cele două sisteme de transport, convențional caracterizat de contactul roată – șină și maglev caracterizat de sustentația magnetică, au ca factor distinctiv fundamental modul de realizare al susținerii, ghidării și tracțiunii sau propulsiei vehiculelor pe calea de rulare respectiv pe cea de ghidare.



a) Trenul TGV b) Trenul ICE 3 c) Trenul AVE S100

Fig. 1. Trenuri cu contact roată-șină.



a) Transrapid Emsland, Germania; b) Transrapid Shanghai, China; c) Trenul maglev japonez JR Maglev MLX01.

Fig. 2. Trenuri maglev Transrapid.

În cadrul sistemului clasic calea de rulare respectiv roțile au rolul de a susține greutatea vehiculului, de a asigura ghidarea acestuia pe cale și nu în ultimul rând de a prelua forțele de tracțiune respectiv de frânare. Aceleași sarcini sunt însă, în cazul sistemului de transport de tip maglev, preluate de către forțe magnetice, forțe ce asigură sustentația, ghidarea și propulsia vehiculului pe calea de ghidare fără frecare, adică caracterul acestui tip de sistem este non-contact.

Fiecare din cele două sisteme de transport analizate prezintă avantaje și dezavantaje.

Sistemul clasic, caracterizat de contactul roată-șină:

– *avantaje*:

- este cel mai răspândit sistem de transport terestru din lume, având capacități de transport (persoane și mărfuri) ridicate;

- este considerat ca fiind cel mai sigur sistem de transport;

- fiind și cel mai vechi sistem, a fost intens studiat și în consecință este foarte bine cunoscut și promovat pe scară largă;

- prețurile de cost ale construcției, exploatării și întreținerii sunt considerate acceptabile;

- vitezele trenurilor, în special ale celor de mare viteză (TGV, ICE, AVE, etc.) sunt ridicate.

– *dezavantaje*:

- este considerat un sistem ce se adaptează unor cerințe noi cu suficiente dificultăți;

- inovațiile, noutățile tehnice sunt, datorită tradiționalismului, foarte greu introduse și aplicate în sistem;

- un nivel al zgomotului relativ ridicat;

- confort al pasagerilor influențat de calitatea căii de rulare.

Sistemul MAGLEV, având la bază sustentația magnetică:

– *avantaje*:

- lipsa contactului între calea de ghidare și vehicul;

- viteze de circulație ridicate;

- confort ridicat;

– *dezavantaje*:

- fiind un sistem relativ nou ce nu este compatibil cu sistemul clasic, nu poate împărți aceeași infrastructură, așadar este necesară proiectarea și construirea acestora ca și sisteme complet independente;

- prețurile de cost ale construcției și exploatării sistemului sunt considerate prohibitive, cel puțin cele ale aplicațiilor de mare viteză;

- capacități de transport marfă reduse, comparativ cu sistemul clasic;

3.2. Concluzii

- În cazul sistemului clasic, modul în care circulă vehiculul pe calea de rulare, este dependent de relația

dintre roată și șină. Studiile dinamice au relevat existența a două mari probleme și anume: (1) calitatea căii de rulare atât din punct de vedere al corectitudinii execuției sale, cât și din punctul de vedere al geometriei sale, astfel, la circulația vehiculului pe cale, neregularitățile și imperfecțiunile căii ferate sunt surse de excitație pentru sistemul mecanic al vehiculului. Prin intermediul contactului roată – șină, osiile purtătoare ale vehiculului suportă din partea căii de rulare, excitații (deplasări sau forțe aplicate în contactul roată – șină): (2) pentru a diminua acțiunea excitațiilor provenite de la calea de rulare, vehiculele feroviare au în componența lor suspensia, formată din elemente elastice având rolul de a micșora nivelul vibrațiilor maselor suspendate ale vehiculului, în consecință efectele oscilațiilor primite de la cale. Apar astfel două elemente esențiale, rigiditatea k și amortizarea c . Intensitatea vibrațiilor maselor suspendate ale vehiculelor feroviare convenționale are implicații atât asupra confortului călătorilor cât și asupra siguranței circulației. Vibrația vehiculelor feroviare este o vibrație de tip nedeterminist, adică aleatoare, provocată de calea de rulare.

Pentru a crește masa utilă a unui vagon de marfă este necesar să se mărească masa respectiv greutatea pe osie, astfel s-a trecut de la sarcina pe osie de la 200 kN la 225 kN, iar în ultima perioadă la 250 kN. Urmare a creșterii sarcinii pe osie, apar probleme de dinamică foarte serioase datorită creșterii masei suspendate a vehiculului, în contactul roată – șină forțele transmise ca excitații din partea căii de rulare sunt mult mai mari și astfel apar o serie de probleme atât pentru vehicul cât și pentru calea de rulare. Calea ferată necesită o infrastructură și suprastructură mult mai solidă, sisteme de fixare a șinelor mult mai bune și implicit lucrările de întreținere sunt mult mai laborioase și mai costisitoare. Pentru vehicul apar în plus probleme de siguranța circulației, de rezistență a structurilor portante și de alegere a elementelor elastice ale suspensiei, ca elemente ce trebuie să înmagazineze o cantitate cât mai mare de energie potențială de deformație, alături de valoarea de energie potențială de deformație disipată.

Pentru realizarea unor viteze de circulație mari, având mase ridicate ale vehiculelor, în condiții de siguranță a circulației și de confort ridicat, este necesar ca atât vehiculul, cât și calea de rulare să răspundă unor condiții constructive speciale. Deoarece calea de rulare se poate realiza cu o geometrie și o calitate având un grad de perfecțiune limitat, este necesară impunerea de condiții constructive deosebite relativ la suspensia vehiculelor.

- *Sistemul neconvențional de transport de tip MAGLEV*, datorită caracterului non-contact al forțelor ce acționează sistemul, oferă o calitate de rulare superioară sistemului clasic, fără excitații (mecanice) din

partea căii de ghidare, alături de viteze de circulație superioare concomitent cu asigurarea deplină a siguranței circulației. Astfel, din punctul de vedere al transportului de călători, sistemele de transport neconvenționale de tip MAGLEV prezintă încă un avantaj asupra sistemului convențional. Aici însă trebuie amintite limitările vitezelor mari de circulație, datorate rezistenței aerodinamice la înaintare.

Din punctul de vedere al transportului de mărfuri capacitățile de transport ale sistemelor MAGLEV sunt la ora actuală reduse, în acest caz sistemul convențional datorită garniturilor lungi și a capacităților de transport mari (250 kN/osie), are un avantaj clar asupra sistemului MAGLEV. Astfel se poate considera că, principalul domeniu de aplicație al sistemului neconvențional de tip MAGLEV va fi transportul de călători.

Problema principală a eforturilor depuse din domeniul MAGLEV în trecut a fost concentrarea, accentuarea excesivă a vitezei și tehnologiei utilizate, fără a aborda sistemul din punctul de vedere al rezolvării problemelor sistemelor de transport în comun. Reținând aceste aspecte, firma MagneMotion a acordat atenția cuvenită modului de abordare al problemei, examinând toate aspectele acesteia privind oferirea spre utilizare a unui sistem de transport de calitate ridicată și economic, utilizând tehnologia MAGLEV, precum și avantajele oferite de disponibilitatea noilor tehnologii. Pentru aplicații destinate Statelor Unite, MagneMotion consideră că, o piață importantă pentru sistemele MAGLEV din ziua de azi, o reprezintă cele din regiunile de mică și medie viteză, actualmente dominate de tramvaie, metrouri, trenuri electrice urbane și suburbane, trenurile de navetiști, precum și alte versiuni care țin de sistemul de transport automat de persoane (APM). Sistemul maglev MagneMotion, sistem denumit și M^3 , este actualmente axat pe viteze de circulație de până la 45 m/s (101 mph, 162 km/h) dar, cu mici modificări, sistemul poate concura cu oricare alt sistem de transport ghidat pe cale, inclusiv cu cele de mare sau mică viteză.

Motorul sincron liniar (LSM), a fost utilizat pentru mai multe aplicații MAGLEV de mare viteză dar, numai în ultima perioadă este aplicat și în domeniul transportului urban. Viteza maximă de circulație, a vehiculelor acestui sistem de transport este doar jumătate din viteza cu care circulă trenul MAGLEV „Transrapid”, operațional în China, dar prin utilizarea vehiculelor de dimensiuni reduse, având un interval mic între două vehicule care circulă pe același fir de cale și cu accelerații rapide, este posibil atingerea unor performanțe excepționale la prețuri de cost mult reduse. Combinația dintre tehnologia LSM și vehicule de dimensiuni reduse, reprezintă o alternativă eficientă din punctul de vedere al costurilor, pentru toate trenurile

acționate prin motoare rotative și motoare cu inducție liniare (LIM), din toate aplicațiile din domeniul transportului, inclusiv cele convenționale și cele monoșină.

Sistemul de transport urban, MagneMotion Urban Maglev System, denumit și M^3 , este conceput ca o alternativă la toate sistemele de transport convenționale ghidate pe cale. Avantajele oferite de acest sistem includ reduceri majore ale timpului călătoriei, ale costurilor de exploatare, ale costurilor totale, precum și ale nivelului de zgomot și consumului de energie. Vehicule de dimensiunile unui microbuz, operând automat cu intervale între vehicule de doar de câteva secunde, cu posibilitatea operării în plutoane de vehicule pot atinge capacități de transport de peste 12 000 de pasageri pe oră și direcție. Vehiculele având o greutate redusă, conduc implicit și la o cale de ghidare cu o greutate redusă, la un timp de așteptare redus pentru publicul călător, la un necesar de putere redus pentru invertoarele situate la marginea căii de ghidare, o frânare electrică recuperativă mult mai eficientă, precum și dimensiuni mai reduse ale stațiilor. Rezultatul este un sistem ce poate fi construit pentru aproximativ 20 milioane de dolari pe milă de cale, inclusiv vehiculele aferente dar, fără costurile implicate de exproprierile de teren.

Se pune accentul pe aplicații urbane, având vehicule standard destinate transportului a 24 de pasageri pe scaune și spațiu pentru încă 12 pasageri, în picioare, pentru orele de vârf. LSM-ul este proiectat pentru a asigura viteze de până la 45 m/s (101 mph, 162 km/h), precum și accelerații și decelerații de până la 2 m/s², toate acestea fără a avea la bord un spațiu destinat echipamentului de propulsie și nici echipamentul propriu-zis. Costurile instalării și exploatării sistemului M^3 sunt predictibil mai mici decât cele ale oricărui alt sistem concurent, iar durata medie a călătoriei se reduce la jumătate. Din punctul de vedere al protecției mediului înconjurător, avantajele acestui sistem includ o reducere la jumătate a consumului de energie, un impact vizual redus datorită secțiunii transversale a căii de ghidare de dimensiuni reduse, precum și un nivel al zgomotului redus.

Pentru unele aplicații, este de preferat utilizarea unor vehicule mai mici având viteze maxime de circulație mai reduse sau, utilizarea unor vehicule mai mari capabile a atinge viteze mari de circulație. Ambele opțiuni, pot fi utilizate folosind aceeași cale de ghidare și același sistem de sustentație. Singura schimbare necesară, se referă la mărirea instalației de forță utilizată pentru propulsia vehiculului. Un vehicul destinat transportului a 12 pasageri, având o viteză maximă de 30 m/s (67 mph, 108 km/h), reprezintă opțiunea discutată în cadrul acestui raport, în cazul în care, aplicația necesită călătorii cu durată scurtă și capacități de transport scăzute, având un avantaj important în costurile scăzute. Un vehicul articulat,

având 36 de scaune, reprezintă o opțiune posibilă pentru viteze de cel puțin 60 m/s (134 mph, 216 km/h). Important este însă faptul că, acordând o atenție adecvată fazei de proiectare, este posibilă îmbunătățirea sistemului M^3 , precum și adaptarea sa pentru vehicule, viteze și capacități de transport sporite, în cazul în care, pe viitor asemenea cerințe prezintă importanță. Evoluția sistemului clasic de cale ferată, a scos în evidență o slabă capacitate de adaptare a acestuia, la schimbările necesare, odată cu trecerea timpului.

Calcululele efectuate de specialiști ai MagneMotion au scos în evidență faptul că, sistemul de transport propulsat cu ajutorul LSM, are costurile de investiție mult mai reduse decât sistemele de transport convenționale bazate pe vehicule acționate electric, fie ele acționate cu motoare electrice de tracțiune rotative, fie acționate cu motoare de inducție liniare (LIM). Vehiculele sunt mult simplificate, costurile energetice și de mentenanță sunt reduse, iar cel mai important aspect este dat de faptul

că, utilizatorii acestui sistem de transport beneficiază de un timp al călătoriei mult redus.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Andersson C., *Vertical and lateral track dynamics: Measurements, model and calibration*. Research report no.2003/2 ISSN 1651-0208, Department of Applied Mechanics/Charmec, Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden, 2003.
- [2] Copaci, Ion, *Încercări experimentale pentru vehicule feroviare*, Editura Universității „Aurel Vlaicu” Arad, 1998.
- [3] Copaci, I., Fișmaister, M., Tornea, G., Mandics, Z., *Aerodinamica și siguranța în circulație a trenurilor de mare viteză*, Editura Mirton, Timișoara, 2006.
- [4] Hood, Christopher P., *Shinkansen - From Bullet Train to Symbol of Modern Japan*. Routledge, 2006, ISBN 0-415-32052-6.
- [5] Moon, Francis C., *Superconducting Levitation Applications to Bearings and Magnetic Transportation*. Wiley-VCR, 1994, ISBN 0-471-55925-3.
- [6] Sebeșan I., Copaci I., *Teoria sistemelor elastice la vehiculele feroviare*, Editura Matrix, București, 2008.