

ADERENȚA OSIILOR MOTOARE ALE VEHICULELOR FERROVIARE

THE WHEELSET ENGINES ADHESION OF RAILWAY VEHICLES

Gabriel POPA¹, Claudiu-Nicolae BADEA², Monica VĂLU³,
Crina BADEA⁴, Melania DUMITRU⁵, George DUMITRU⁶

¹ Universitatea „Politehnica” București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România.

e-mail autor: Gabriel POPA: gabi21popa@yahoo.com;

^{2,3,6} Autoritatea Feroviară Română, Calea Griviței nr. 393, sectorul 1, București, România.

e-mail autor: Claudiu-Nicolae BADEA: badeaclaudiun@gmail.com, Monica VĂLU: mmonicavalu@yahoo.com; George DUMITRU: george.dumitru.cfr@gmail.com;

^{4,5} Universitatea „Politehnica” București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România.

e-mail autor: Crina BADEA: casagalbenas@yahoo.com; Melania DUMITRU: melania76dumitru@gmail.com.

Rezumat: Aderența a limitat capacitățile de tracțiune și frânare ale vehiculelor feroviare încă de la începutul transportului feroviar. În ultimele decenii, unele căi ferate au fost afectate în special de aderență scăzută, îndeosebi datorită prezenței contaminării în contactul roată - șină. Cea mai clară consecință a aderenței scăzute sunt întârzierile pentru navetiștii zilnici, care pot apărea în special toamna. Deși unele măsuri au fost adoptate de către căile ferate afectate, problemele conexe ale aderenței nu au fost în mare măsură rezolvate. În această lucrare se introduce o aderență scăzută în contactul roată - șină, subliniind cauzele asociate și consecințele. Sunt descrise, de asemenea, contramăsurile existente.

Cuvinte cheie: frecare, contact roată - șină, aderență, tracțiune, alunecare.

Abstract: Adherence has limited the traction and braking capabilities of rail vehicles since the beginning of rail transport. In the last decades, some railways have been affected in particular by the low adhesion, especially due to the presence of contamination in the wheel - rail contact. The clear consequence of the low adherence are the delays for daily commuters, which can occur especially in autumn. Although some measures have been adopted by the affected railways, the issues of adherence have not yet been largely resolved. In this paper a low adhesion is introduced in the wheel - rail contact, emphasizing the associated causes and the consequences. Existing countermeasures are also described.

Keywords: grip friction, wheel contact - rail, grip, traction, slip sliding.

1. ADERENȚA CARE POATE FI GĂSITĂ ÎN CONTACTUL ROATĂ - ȘINĂ

Aderența existentă între roțile vehiculelor de cale ferată și șine este limitată de frecarea unui contact oțel pe oțel. Mecanismul de frecare metalică a fost investigat de mai mulți autori. Bowden și Tabor [1] au atribuit frecarea dintre un metal dur glisat pe o suprafață metalică moale cu o combinație de forfecare și exfoliere, adică suma de forțe necesară pentru forfecarea joncțiunilor metalice formate în punctele de contact și forța necesară pentru a deplasa metalul mai moale în fața glisorului. Suh și Sin [2] au propus o teorie a frecării metalice bazată pe trei mecanisme diferite: deformarea asperității de suprafață, exfoliere prin particule de uzură și asperități tari și aderența suprafețelor culisante. Într-o compilație de constatări raportate de diferiți autori [3], în patru mecanisme de frecare metalică sunt date: aderența suprafețelor culisante, plastic deformate și exfolierea unei suprafețe prin asperități dure ale celeilalte suprafețe elastice, deformarea materialului sub suprafața deformată plastic și exfolierea prin uzura particulelor.

Rezultatele cercetărilor de laborator și de teren, precum și alte investigații disponibile

în literatura de specialitate, coroborate cu frecarea la contactul cu șina, curate și uscate este suficientă pentru a suporta aderența tipică sunt cerințele materialului rulant, transportul feroviar are loc într-un sistem deschis, care nu poate împiedica intrarea diferitelor elemente contaminatoare în contactul roată - șină. În prezența contaminării, nivelul de frecare poate fi foarte mare față de cel al condițiilor uscate curate. Reducerea aderenței este puternic dependentă de tipul de contaminare, fiind influențată și de condițiile de mediu. Frunzele, apa și grăsimea / uleiul au fost raportate a fi cele mai frecvente contaminări care afectează căile ferate din întreaga lume.

Frunzele au fost raportate ca fiind principalul reducător de aderență în multe căi ferate, în special atunci când este combinat cu umiditatea [4]. Frunzele pot cădea din copaci și tufe situate de-a lungul liniilor de cale ferată. Acestea o dată căzute pot fi atrase pe șine de curentul format la trecerea trenului sau pot fi suflate de vânt pentru a ajunge pe șine unde la trecerea roților sunt zdrobite formând un strat de frunze bine compactat pe suprafețele șinelor, pe roți sau pe ambele.

În figura 1 sunt ilustrate diferite etape care duc la formarea straturilor de frunze pe partea superioară a unei linii ferate, așa cum s-a observat în timpul studiilor pe teren. Figura 1.a arată frunzele sprijinite pe ciuperca unei șine înainte de trecerea trenului. Figura 1.b arată trecerea primei roți a trenului peste frunze, contaminând șina. Se poate observa că majoritatea frunzelor au fost compactate pe șină și roți, în timp ce câteva dintre ele au fost aruncate de pe ciuperca șinei. O fotografie de sus a șinei contaminate, după câteva treceri ale roților este prezentată în figura 1.c, în care straturile de frunze sunt compactate și par să se formeze și unele straturi negre de frunze loptoase. Figura 1.d arată partea de sus a ciupercii șinei contaminate după trecerea tuturor roților trenului, în care toate straturile de frunze loptoase se transformă în numeroase pete ale straturilor de frunze de colorare neagră. Colorația neagră straturilor de frunze a fost atribuită mai degrabă unei reacții chimice a frunzelor cu fierul decât carbonizarea materialului organic al frunzelor [5]. Trebuie să fie înțeles că scăzând problemele de aderență acestea sunt rezultatul straturilor de frunze (negre). Straturile de frunze compactate sunt foarte greu de îndepărtat de pe șină, în contrast cu frunzele normale care pot fi ușor suflate sau aspirate.

După o analiză chimică a straturilor de frunze negre s-a constatat un amestec de fier și oxid de fier, apă, resturi de frunze și ulei [6]. Grosimea straturilor de frunze create într-o configurare de testare la scară completă a fost determinată să varieze în grosime de la 10 [μm] la 100 [μm] [7], ceea ce înseamnă că acestea pot împiedica contactul dintre asperitățile de suprafață ale roților și șine. În acest sens, straturile de frunze au fost, de asemenea, raportate ca fiind factorul care cauzează probleme de aderență a trenului datorită efectului lor izolat [8]. Cercetările de laborator au arătat că straturile de frunză uscată sunt mai dure decât cele umede [9]. Mai mult, rezistența la forfecare a straturilor de frunze s-a dovedit a fi invers proporțională cu nivelul de umiditate, atingând cea mai mică valoare de frecare atunci când straturile de frunze sunt saturate cu apă [10].

Apa poate apărea pe ciuperca șinei în cantități diferite prin diferite mijloace. Greu, ploaia duce la cantități mari de apă pe șine, în timp ce roua, ceața, gheața topită / zăpada și ploaia provoacă formarea de umiditate sau cantități mici de apă pe șine. Atunci când este prezentă în cantități mici, apa poate reduce aderența pe șine la niveluri insuficiente atât pentru operații de frânare, cât și de tracțiune în combinație cu altele elemente nocive, cum ar fi frunze, rugină, uzură sau alte particule solide. Pe de altă parte, cantități mari de apă în punctele de contact roată - șină contaminate, se consideră că acesta contribuie la spălarea elementelor contaminatoare de pe șine. În plus, frunzele umede sunt mai greu de curățat pe șine decât cele uscate.

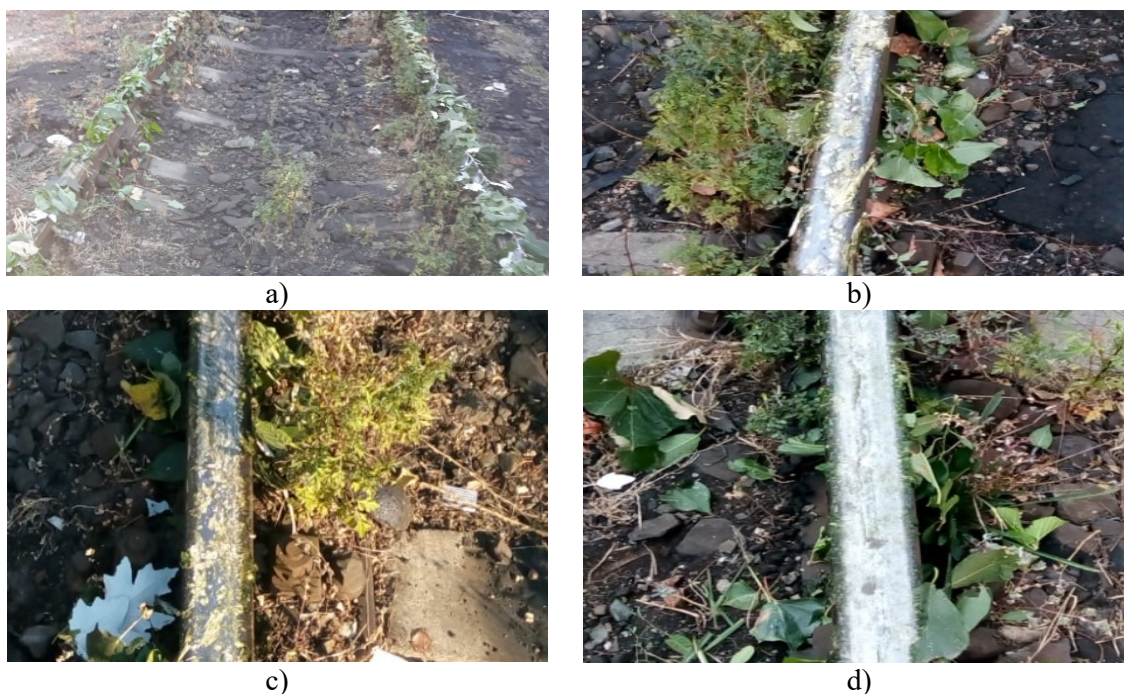


Fig. 1. Șină contaminată cu frunze în diferite etape în procesul formarea straturilor de frunze: a) înainte de trecerea trenului; b) la trecerea primei roți; c) după trecerea a câteva roți; d) după trecerea tuturor roților trenului.

Cercetările efectuate la contactele șinei cu roțile lubrificate cu apă în condiții curate au arătat că reducerea frecării poate compromite cerințele de aderență ale materialului rulant mai ales în tracțiune [11]. Astfel aceste studii, s-a constatat că reducerea aderenței în cazul contactului roată-șină, în prezența apei depinde de viteza de deplasare, de sarcina pe osie, de suprafață, de rugozitatea roților și șinelor și de temperatura apei.

Unsoarea este folosită de majoritatea căilor ferate pe curbe pentru a unge contactul dintre buza bandajului roții și fața interioară a șinei pentru a reduce uzura, zgomotul și energia de tracțiune [12]. Unsoarea este adesea aplicată pe șine cu ajutorul unor ungătoare de cale. În caz de defecțiune, se pot aplica cantități excesive de unsoare sau poate că punctul țintă poate fi ratat, ceea ce poate duce la migrarea unsorii către partea superioară a șinei, determinând o reducere nedorită a aderenței roții. Figura 2.a arată o fotografie a ciupercii unei șine, care a fost pulverizată în mod corespunzător cu o unsoare utilizată pentru ungerea feței interioare a șinei. Contaminarea uleioasă poate apărea pe șine din cauza scurgerilor din materialul rulant (de exemplu, ungerea cu ulei), mașini de cale (de exemplu, ulei hidraulic) sau combustibili (de exemplu, combustibili auto) [8]. În literatura de specialitate pot fi cercetări de laborator privind aderența contactelor roată - șină contaminate cu ulei găsite [11]. În aceste cercetări, s-a constatat că uleiul reduce aderența mai mult decât apa, în absența altor elemente contaminatoare, ceea ce duce la niveluri de frecare care nu se încadrează în cerințele de aderență pentru operațiunile de tracțiune și frânare adecvate. Pe de altă parte, s-a arătat că aderența în punctele de contact uleioase este mai mare decât în punctele de contact contaminate cu frunze [9].

Uzură și rugina pot reduce de asemenea aderența roții pe șină, în special în combinație cu cantități critice de apă și ulei [13]. Experiența a arătat că nivelul de frecare al roților unei locomotive cu bandaje noi pe șinele ruginite în condiții uscate poate fi mai mică de 0,2. În

figura 2.b se poate observa în mod clar trecerea roții unui vehicul feroviar pe o șină ruginită.

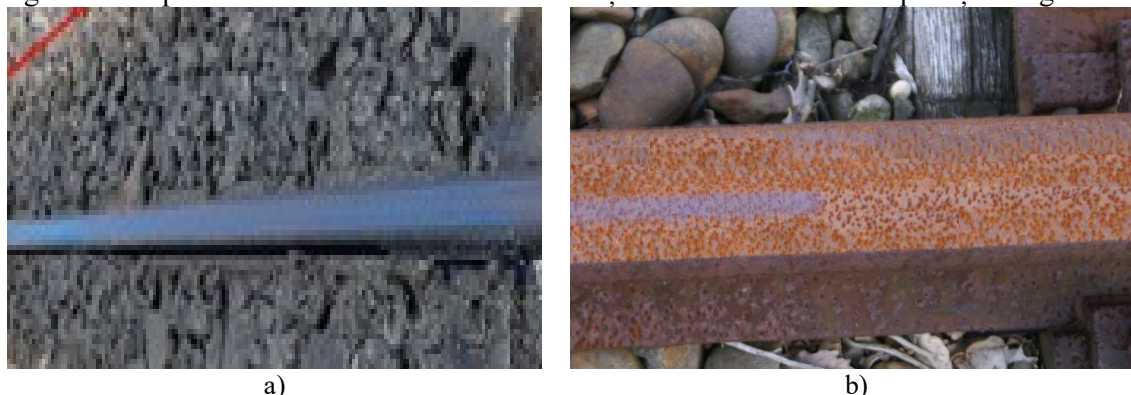


Fig. 2. Fotografia de sus a unei șine: a) contaminată intenționat cu o unsoare utilizată frecvent ca lubrifianț pentru buza bandajului ; b) ruginite.

Umiditatea relativă este un alt factor important care poate afecta aderența pe șină a roții. Cercetările de laborator au arătat că o umiditate relativă ridicată poate reduce nivelul de frecare la contactele uleioase și la contactele uscate [14, 15, 16]. Acesta din urmă a fost atribuită formării unui strat de oxigen pe suprafața de contact, care este ușor ruginită (oxidată) și care nu poate fi văzută cu ochiul liber [17].

Alte forme posibile de contaminare suspectate de a afecta aderența roților este aerul marin pe rutele de coastă și poluarea industrială de la fabricile situate în apropierea căilor ferate [8].

2. CONSECINȚELE UNEI ADERENȚE SCĂZUTE

Consecințele unei aderențe scăzute diferă în funcție de cazul în care se află trenul adică în timpul tracțiunii sau al frânării. În general, se spune că o aderență scăzută în operația de tracțiune afectează punctualitatea, iar în cazul frânării poate pune în pericol siguranța [18]. Dar poate exista alte câteva consecințe datorate aderenței scăzute, așa cum este prezentat mai jos în mai multe cazuri.

O aderență scăzută în timpul tracțiunii poate afecta capacitatea căii ferate, reducerea punctualității transportului feroviar și în unele cazuri extreme, deteriorarea șinelor și mai rar roților materialului rulant. Se poate observa că, în medie, punctualitatea scade mult în toamnă, ceea ce poate fi atribuit probabilității prezenței contaminanților, cum ar fi frunzele și apa. Pierderea punctualității poate genera un cost dublu pentru Companiile de călători și marfă. Întârzierile în serviciul ale trenurilor de călători, în general, provoacă nemulțumire călătorilor, ceea ce poate promova în unele cazuri preferința navetiștilor de a utiliza alte forme de transport.

În plus, roțile care alunecă uneori pot provoca deteriorarea șinelor și a roților, în cazul particular, al materialului rulant echipat cu o tracțiune adecvată de sistem de control (antipatinaj). O aderență scăzută la începutul tracțiunii poate implica o patinare a roților [19], care poate genera temperaturi ridicate pe suprafața șinei, conducând la formarea așa-numitelor arsuri de șină (figura 3.a). În plus, se poate produce, de asemenea, exfolierea materialului fragil format pe suprafața șinei. Mai mult, nivelul ridicat al alunecării roților la rulare scăzută, viteza ar putea provoca creșterea fisurii de oboseală pe suprafața de rulare [20], așa cum se arată în figura 3.b. Pe de altă parte, la viteze mari de rulare, efecte termice datorită alunecării mari a roților ar putea duce la formarea martensitei pe calea de rulare [19].

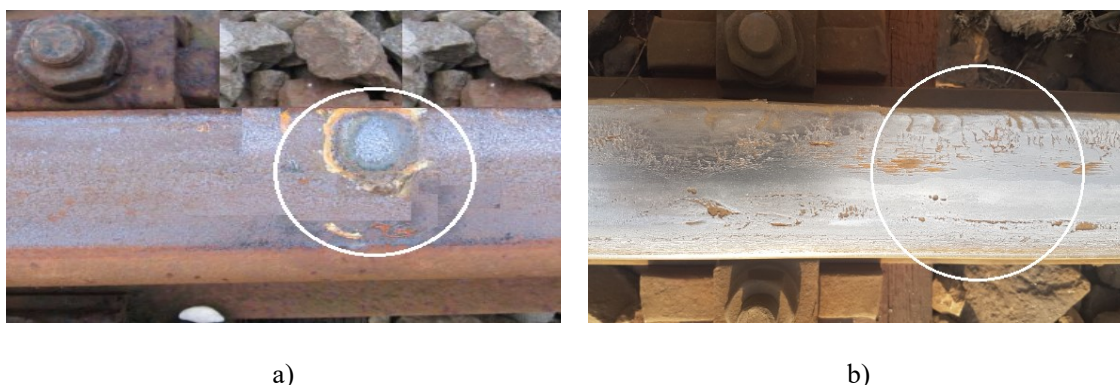


Fig. 3. Fotografia cu: (a) o arsură de șină; b) fisuri pe calea de rulare a roții din cauza alunecării mari.

Condițiile scăzute de aderență în timpul frânării pot afecta capacitatea și punctualitatea traseului (egal în cazul unei aderențe scăzute în timpul tracțiunii), amenință siguranța transportului pe căii ferate și provoca daune semnificative roților. Dacă un tren este solicitat să oprească la un semnal, aderența la contactele șină - roată este esențială pentru viteza cu care trenul poate trece la decelerare. Depășirile de semnale apar și din cauza condițiilor de aderență scăzute. În cele mai periculoase cazuri, depășirile de semnale pot duce la coliziuni dacă calea ferată este ocupată cu un alt tren.

Adesea, deteriorarea roților datorită frânării în condiții de aderență scăzută apare, în special la materialul rulant care nu este echipat cu o protecție adecvată pentru alunecarea roților. Blocarea sau blocarea parțială a osiilor montate în timpul unei manevre de frânare duce la un nivel ridicat de alunecare, ceea ce face ca o parte a căii de rulare a roții să se uzeze formând așa numitele locuri plane. Temperatura ridicată în punctul de contact, depășind 800 - 850 °C energie disipată, transformă oțelul roții perlitice în austenită [20]. Răcirea rapidă, ulterioară a zonei afectate termic, pe măsură ce roata începe să se rotească din nou determină o transformare a fazei austenitice în martensită. Mai mult, inițial locul plan al roții cu muchii ascuțiți se transformă într-un loc plan mai lung cu margini rotunjite datorită deformării plastice a materialului roții la impacturile ulterioare cu șina [21]. Formarea fisurilor poate avea loc în martensită datorită încărcării mecanice repetate, ducând la scurgerea oțelului martensitic [20], așa cum se arată în figura 3.b.

Forțele de impact ridicate ale contactului roată - șină asociate cu locurile plane ale roților duc la avarii la șină, traverse din beton și unele părți ale asiei montate [22]. De asemenea, produc niveluri excesive de zgomot și vibrații, afectând confortul călătorilor. Pentru a elimina locurile plane ale roților, acestea sunt în mod normal reprofile, ceea ce duce la creșterea costurilor de întreținere.

3. CONTRAMĂSURI EXISTENTE ÎMPOTRIVA ADERENȚEI SCĂZUTE

Cea mai veche contramăsură împotriva aderenței scăzute din istoria transportului feroviar este nisiparea șinei, care constă în aplicarea nisipului în contactul roată - șină pentru a îmbunătăți aderența. Cele mai multe locomotive au montate nisipare, acestea fiind montate pentru prima dată în Marea Britanie în anul 1836. În figura 4.a este prezentată o locomotivă cu aburi și o locomotivă de tip nou, dotate cu instalație de nisip. În ultimele decenii, căile ferate afectate au adoptat alte măsuri de combatere sau de reducere a nivelului scăzut probleme de aderență [8]. Contramăsurile pot fi clasificate în: operaționale, legate de trasee și măsuri legate de material rulant.

Societățile de căi ferate și administratorii infrastructurii feroviare din țările afectate au

aplicat unele dintre următoarele contramăsuri operaționale precum conștientizarea personalului prin intermediul comunicărilor interne, sisteme de avertizare a condițiilor de aderență găsite în rețea, instruire specifică și instrucțiuni pentru mecanicii de locomotivă cu privire la modul de operare a trenurilor în condiții de aderență scăzută, prognoza meteo pentru a determina probabilitatea căderii frunzelor și formarea umidității pe șine și respectiv adaptarea orarului.

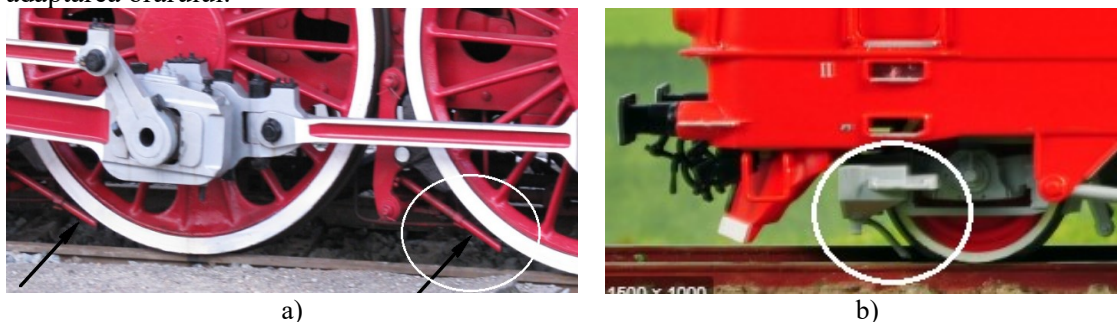


Fig. 4. Instalație de nisip: (a) la o locomotivă cu aburi; b) la o locomotivă de tip nou.

Administratorii infrastructurii feroviare pot întreprinde unele măsuri pentru a preveni prezența contaminării pe șine sau pentru a reduce impactul acesteia asupra aderenței pe șină a roților, cum ar fi gestionarea vegetației pentru a se asigura că există o distanță minimă între calea ferată și vegetația cea mai apropiată de linie (așa cum se arată în figura 5.a), îngrădiri ale frunzelor adiacente căii ferate pentru a evita intrarea frunzelor pe șină, apărătoare de frunze, precum cele indicate în figura, care reduc cantitatea de frunze care sunt aduse pe șine prin trecerea trenului sau aduse de vânt, aplicatoare de cale, care este un modificator de frecare pe bază de nisip, conceput pentru a îmbunătăți aderența pe șina roților. Aplicatoarele de traseu sunt amplasate în mod normal în apropierea stațiilor, semnale sau treceri de nivel care pot fi sensibile la incidente cu aderență scăzută, astfel încât operațiile de frânare și tracțiune pot fi garantate, vehicule multifuncționale, care sunt folosite pentru curățarea șinelor din anumite zone ale rețelei cu ajutorul jetului de apă (figura 5.b), (adică sablare șinele cu apă la presiune foarte mare), șlefuire, modificator de frecare sau o combinație a acestora [8];



Fig. 5. Fotografie cu: a) gestionarea vegetației; b) sablarea șinelor cu apă la presiune foarte mare.

Unele dintre administrațiile de transport pe calea ferată, care operează în țările afectate, uneori împreună cu administratorii infrastructurii, au adoptat măsuri precum practica de nisipare a liniei a fost extinsă în ultimii ani la unele țări precum Germania și Marea Britanie [23], aplicația modificator de frecare transmisă de tren (figura 6.a), jetul de particule ceramice, care este utilizat în Japonia într-un mod similar cu nisiparea liniei, dar raportat a fi mai eficient la viteze mai mari de deplasare (până la 300 [km/h]), datorită jetului [24],

încorporarea sistemelor Controlul Tracțiunii / Protecție Împotriva Alunecării Roților în materialul rulant existent și nou pentru a maximiza utilizarea aderenței existente în condiții de aderență scăzută [25], frâne cu patine magnetice, care au fost montate pe boghiurile de tracțiune ale unor unități electrice multiple pentru a crește performanța de frânare în cea mai mare parte (sau numai) în timpul frânării de urgență. O fotografie a unei frâne cu patină magnetică activă este prezentată în figura 6.b.

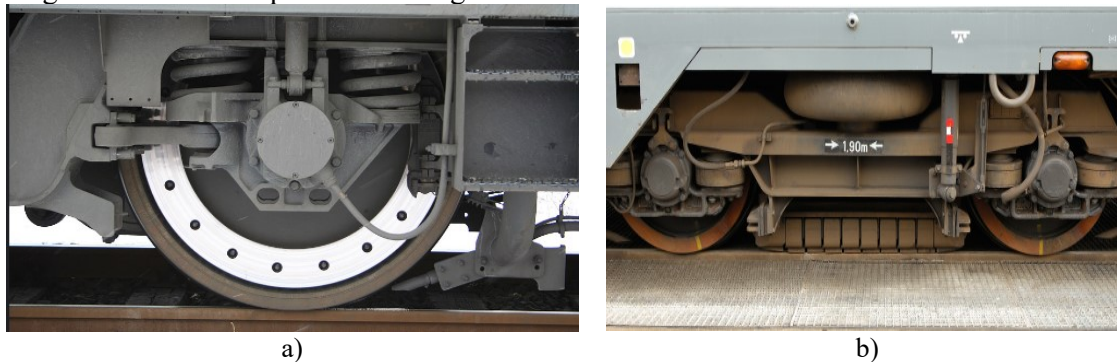


Fig. 6. (a) modificador de frecare transmisă de tren; b) frână cu patină magnetică activă.

4. MOTIVAȚIA CERCETĂRII

Problemele legate de aderență scăzută nu au fost, încă, rezolvate în mare măsură, în ciuda contramăsurilor adoptate de căile ferate afectate. Este de remarcă faptul că unele depășiri de semnale au implicat material rulant echipat cu sisteme antipatinaj și instalații de nisipare a liniei. Cercetările privind întârzierile de trenuri în perioada 2016 - 2018 au relevat reduceri de până la 11% în lunile de toamnă, comparativ cu media anuală [26]. Într-o mare măsură, persistența problemelor de aderență scăzută poate fi atribuită unor motive principale precum înțelegerea insuficientă a fenomenului de aderență scăzută, înțelegerea slabă asupra eficienței, utilizării optime și a efectelor secundare ale contramăsurilor existente, necesitatea detectării și identificării corespunzătoare a cauzelor de aderență scăzută în serviciu, lipsa informațiilor privind nivelul de aderență disponibil în serviciu. Pentru a rezolva problema de aderență scăzută, s-a comandat un proiect de cercetare pentru studierea punctelor menționate mai sus [27].

Relația dintre contramăsurile cercetate și problema cu aderență scăzută este prezentată în figura 7.

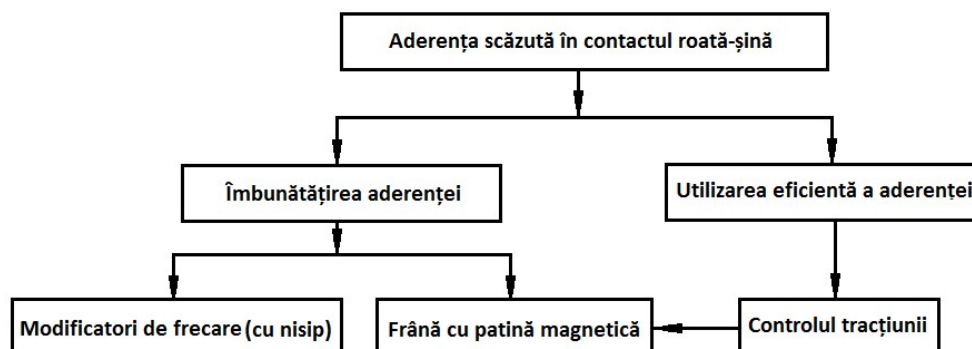


Fig. 7. Relația dintre contramăsurile cercetate și problema cu aderență scăzută.

Modificatorii de frecare, nisiparea liniei și frânarea cu patină magnetică sunt contramăsuri care pot fi luate pentru a îmbunătăți aderența prin condiționarea suprafețelor

șinelor, roților sau a ambelor. Mai mult, controlul tracțiunii poate fi folosit pentru a utiliza mai bine aderența disponibilă sau pentru a îmbunătăți aderența, funcționând cu alunecare ridicată. În unele situații, controlul tracțiunii poate să fie utilizat în combinație cu oricare dintre celelalte trei contramăsuri.

5. ÎNȚELEGEREA EFICACITĂȚII, EFECTELE SECUNDARE ȘI UTILIZAREA OPTIMĂ A ȘLEFUIRII

Literatura de specialitate a arătat că sunt diferite standarde privind practicile de șlefuire folosite de căile ferate. Sunt folosite diferite distribuții ale mărimii particulelor, de exemplu: 0,2 - 1,2 [mm] în Olanda; 0,7 - 2,8 [mm] în Marea Britanie [23]; 0,1 - 0,6 [mm] în Franța; [28], 0,63 - 2 [mm] în Germania [29] și 0,25 - 1 [mm] în România [30]. În plus, se pot utiliza diferite rate de aplicare în funcție de căile ferate și de caracteristicile șlefuitorilor. Studiile privind influența mărimii particulelor și a vitezei de alimentare, precum și a altor parametri de șlefuire, asupra eficacității șlefuirii sunt foarte puține.

Pe de altă parte, căile ferate pot fi reticente să folosească nisip, deoarece poate provoca două efecte secundare importante respectiv izolarea contactului roată - șină care duce la probleme de detectare a trenului [28] și accelerarea uzurii roților și șinelor [31].

În plus, nisipul acționează ca un lubrifiant solid în anumite condiții, reducând aderența pe roți de față de situația contactelor uscate [31]. Cu toate acestea, efectul parametrilor de șlefuire asupra acelor efecte secundare nu este bine înțeles.

Este suficient să spunem că această lipsă de înțelegere fundamentală a efectului parametrilor de șlefuire asupra eficienței și efectelor secundare împiedică orice posibilă optimizare a utilizării nisipului nu numai pentru șlefuire, ci și pentru modificatorii de frecare pe bază de nisip.

6. ÎNȚELEGEREA EFICACITĂȚII CONTROLULUI TRACȚIUNII

În prezent, frânarea magnetică este folosită doar în timpul frânării de urgență în căile ferate olandeze. În ultimii ani, interesul a crescut în Olanda și Marea Britanie față de posibila utilizare frecventă a frânării magnetice împotriva șinelor alunecoase [32], în timp ce în alte căi ferate frânarea magnetică poate fi folosită [33]. Cu toate acestea, pare să existe o lipsă de cunoștințe cu privire la beneficiile majore și posibilele efecte secundare ale utilizării frânelor magnetice pentru a depăși problemele de aderență scăzute. Acest lucru împiedică orice posibilă analiză a costurilor în utilizarea frânelor magnetice ca o contramăsură eficientă împotriva aderenței scăzute.

Sistemul de control al tracțiunii (precum și sistemul de protecție antipatinaj) este testat de producător înainte de implementarea lor pe materialul rulant pentru a obține parametrii optimi pentru algoritmul de control. Cu toate acestea, condițiile scăzute de aderență din teste pot fi adesea create cu o soluție de săpun, ale cărei proprietăți reologice pot diferi în mod clar de contaminanții care afectează căile ferate în realitate.

Pentru a găsi răspunsuri la întrebările prezentate în motivațiile cercetării, au fost efectuate investigații experimentale și numerice. Experimental au fost efectuate cercetări în laborator și pe teren. În cadrul cercetărilor de laborator, aderența șină - roată a fost examinată cu o platformă cu role cu două discuri, în care contactul real cu șina este simulat de două discuri aflate în mișcare de rulare. Influența diferitelor tipuri de contaminare asupra aderenței în contactul roată - șină, precum și eficiența modificatorilor de frecare și șlefuirea, a fost cercetată prin teste controlate în deplasare, adică raport fix de alunecare și viteză de rulare.

Abordarea testului de laborator a fost aleasă din două motive principale. Pe de o parte, investigațiile în laborator pot fi mult mai economice decât efectuarea de teste pe teren, în

special atunci când vine vorba de studii parametrice. Pe de altă parte, testele în laborator sunt efectuate în condiții strict controlate, oferind posibilitatea de a cerceta efectul unui parametru izolat. Principalul compromis la testarea în laborator este că rezultatele ar putea să nu fie extrapolate direct la contactul real cu roată - șină, în principal din cauza diferențelor de geometrie și, uneori, în condiții operaționale. Prin urmare, testarea de laborator oferă o indicație calitativă a ceea ce se întâmplă în contactul roată-șină actual pentru a identifica parametrii influențatori de aderență. După aceea, testele de teren sunt folosite pentru a cuantifica efectul lor în condiții reale.

CONCLUZII

Pentru a atenua problema de aderență scăzută, administratorii de infrastructură afectați și companiile de exploatare a trenurilor au adoptat o varietate de măsuri. Cu toate acestea, problemele persistă în continuare. Acest lucru poate fi parțial atribuit unei înțelegeri insuficiente a problemei și a măsurilor sale posibile. Cercetările au urmărit îmbunătățirea acestei înțelegeri și adoptarea unor soluții eficiente a problemei. Au fost cercetate patru contramăsuri existente, și anume modificatorii de frecare, șlefuirea, frânele patină magnetică și controlul tracțiunii.

Modificatorii de frecare, șlefuirea și frânele cu patină magnetică sunt contramăsuri care pot fi luate pentru a îmbunătăți aderența prin condiționarea suprafețelor șinelor, roților sau ambelor. Unele modificatoare de frecare se pot baza pe nisip sau alte particule solide, dar în mod normal sunt proiectate pentru a oferi o performanță mai bună decât cu nisip. Atât modificatorii de frecare, cât și nisipul pot fi aplicate la contactul roată-șină, fie prin instalații de cale ferată, fie de tren.

Frânele cu patină magnetică acționează glisând o patină magnetică pe șine, contribuie la creșterea performanței de frânare a trenului și la o anumită eliminare a contaminării.

Controlul tracțiunii poate fi utilizat pentru a folosi în mod optim aderența disponibilă prin ajustarea cantității potrivite de alunecare a roții sau pentru a îmbunătăți aderența prin acționarea la alunecare mare. Mai mult, controlul tracțiunii poate fi combinat în practică cu oricare dintre celelalte trei contramăsuri, în funcție de calea ferată și tipul de vehicul feroviar.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **F.P. Bowden, D. Tabor**, „*The Friction and Lubrication of Solids*”, Clarendon Press, Oxford (1956).
- [2] **N.P. Suh, H.C. Sin**, „*The Genesis of Friction*”, *Wear* 69 (1981), pp. 91-114.
- [3] **ASM Handbook**, „*Volume 18, Friction, Lubrication, and Wear Technology*”, ASM International (1992).
- [4] **U. Olofsson, K. Sundvall**, „*Influence of Leaf, Humidity and Applied Lubrication on Friction in the Wheel-Rail Contact*”, Pin-on-Disc Experiments. *Journal of Rail and Rapid Transit* 218 (2004), pp. 235-242.
- [5] **P.M. Cann**, „*The “leaves on the line” problem-a study of leaf residue film formation and lubricity under laboratory test conditions*”, *Tribology Letters* 24 (2006), pp.151- 158.
- [6] **C.R. Fulford**, „*Review of Low Adhesion Research*”, Report published by the RailSafety and Standards Board, UK (2004).
- [7] **W. Poole**, „*Characteristics of Railhead Leaf Contamination*”, Summary Report published by Rail Safety and Standards Board (May 2007).
- [8] „*Managing Low Adhesion*”, Report published by the Adhesion Working Group, UK (September 2001).
- [9] **E.A. Gallardo-Hernandez, R. Lewis**, „*Twin disc assessment of wheel/rail adhesion*”, *Wear* 265 (2008), pp. 1309–1316.

- [10] **W. Poole**, „*Characteristics of Railhead Leaf Contamination*”, Summary Report published by Rail Safety and Standards Board (May 2007).
- [11] **A Neacsă, DB Stoica, NN Antonescu**, „*Studies on the use of implemented databases on web platforms in order to verify machines compatibility with working conditions*”, Journal of the Balkan Tribological Association 18 (4), (2014).
- [12] **P. Scroba, M. Roney, R. Dashko, E. Magel**, „*Canadian Pacific Railway's 100% Effective Lubrication Initiative*”, AREMA 2001, Conference and Exhibition, Chicago, Illinois (2001).
- [13] **M. Broster, C. Pritchard, D.A. Smith**, „*Wheel/rail adhesion - Its relation to rail contamination on British railways*”, Wear 29 (1974), pp. 309-321.
- [14] **T.M. Beagley, I.J. McEwen, C. Pritchard**, „*Wheel/rail adhesion - The influence of railhead debris*”, Wear 33 (1975), pp. 141-152.
- [15] **T.M. Beagley, C. Pritchard**, „*Wheel/rail adhesion - The overriding influence of water*”, Wear 35 (1975), pp. 299-313.
- [16] **T.M. Beagley, I.J. McEwen, C. Pritchard**, „*Wheel/rail adhesion – Boundary lubrication by oily fluid*”, Wear 31 (1975), pp.77-88.
- [17] **U. Olofsson**, „*A multi-layer model of low adhesion between railway wheel and rail*”, Journal of Rail and Rapid Transit 221 (2007), pp. 385-389.
- [18] **I. Sebeșan**, „*Dinamica Vehiculelor Feroviare*”, Editura MatrixRom, București 2011.
- [19] **A. Neacsă, D.B. Stoica**, „*Aspects concerning the software applications in order to determine the technological systems reliability*”, MOCM, Number 13, Volume IV, (2007).
- [20] **R. Deuce**, „*Wheel Tread Damage*”, Bombardier Inc (2007).
- [21] **J. Nielsen**, „*Out-of-round railway wheels*. In *Wheel-Rail Interface Handbook*. Woodhead Publishing Limited (2009).
- [22] **M.J.M.M. Steenbergen**, „*Wheel-Rail Interaction at Short-Wave Irregularities*. PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands (2008).
- [23] *Sanding Equipment Fitted to Multiple Units and On-track Machines*. Railway Group Standard GM/RT 2461 (2001).
- [24] **K. Ono**, „*Adhesion-Increasing-Agent Jetting System Cerajet*”, Railway Technology Avalanche 2 (2003), pp. 13.
- [25] **A. Neacsă, N.N. Antonescu, D.B. Stoica**, „*Modern solutions for Selecting the Corresponding Machinery Dedicated to Technological Applications*”, Journal of the Balkan Tribological Association 15 (4), pp. 474-479 (2009).
- [26] **N. van Steenis**, „*Monitoring train performance in case of low adhesion*”, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, the Netherlands (2010).
- [27] **A. Neacsă, N.N. Antonescu, D.B. Stoica**, „*Software Applications for Complex Technological Systems Reliability*”, Journal of the Balkan Tribological Association 15 (1), (2009), pp. 45-51.
- [28] Mesures a Prendre Pour Ameliorer la Sensibilite au Shuntage des Circuits de Voie, UIC737-2 in French (1980).
- [29] **G. Gfatter, D. Lang, H. Kalbas, G. Krause, W. Rychli**, „*Sanding Systems*”, Handbook published by Knorr-Bremse GmbH (2002).
- [30] SR 933-1 / 2002 Agregate. Determinarea granulozității.
- [31] **S. Kumar, K. Krishnamoorthy, D.L. Prasanna Rao**, „*Wheel-Rail Wear and Adhesion With and Without Sand for a North American locomotive*”, Journal of Engineering for Industry 108 (1986), pp. 141-148.
- [32] **N. van Steenis**, „*Voorstudie Magneetrem op Gladde Sporen*”, Report produced by NedTrain Consulting (2003) in Dutch.
- [33] **W. Voges, P. Spiess**, „*Optimising Services with EMU ET42x in Autumn 2004 and 2005*”, In the Proceedings of 7th World Congress on Railway Research, Canada (2006).