

ANALIZA PROFILURILOR DE UZURĂ LA VEHICULELE DE CALE FERATĂ

THE INFLUENCE OF THE WHEEL PROFILE ON THE WHEEL-RAIL CONTACT CONDITIONS

Ioan SEBEȘAN^{1,a}, Valeriu ȘTEFAN^{2,b}, Georgiana PRODAN^{3,c}

¹ Prof. Univ. Dr. Ing., Universitatea Politehnica din București,
București, România

^aioan_sebesan@yahoo.com,

²Drd, Ing., Autoritatea Feroviară Română-AFER,

București, România

^bstefanvaleriu@yahoo.com

³Ing., Universitatea Politehnica din București,

București, România

^cgeorgiana3_2005@yahoo.com

Rezumat. Suprafața de rulare a roții este compusă dintr-o succesiune de forme geometrice de revoluție racordate între ele, ale căror secțiuni într-un plan meridian al osiei montate sunt curbe concave, convexe sau drepte înclinate cu diferite unghiuri, determinând profilul de rulare. Profilul de rulare are două mari zone, zona buzei roții și zona de rulare a roții. Primele tipuri de roți realizate au avut profile de rulare conice, care după o perioadă scurtă de exploatare se uzau, zonele liniare devenind zone curbe. Odată stabilizat profilul de rulare, s-a constatat că viteza de uzură a roții scade foarte mult, înscrierea în curbă și siguranța la deraiere fiind îmbunătățite. Studiindu-se acest fenomen, s-a constatat că profilul la care s-a stabilizat uzura rapidă este similar pentru roțile care au rulat în aceleași condiții, fapt pentru care administrațiile de cale ferată au trecut la adoptarea unor „profile de uzură”.

Cuvinte cheie: suprafață de rulare, profil de uzură, forță de centraj, conicitate echivalentă, S-78

Abstract. The tread surface of the wheel is composed of a succession of geometric shapes of revolution connected with each other, whose section in a meridian plane of the mounted axle are concave curved, convex or straight lines inclined at different angles, determining the rolling profile. The rolling profile has two main areas, the flange of the wheel area and the tread surface of the wheel. The first types of wheels were made with conical rolling profiles, which after a short period of exploitation worn down, the linear areas becoming curved areas. Once stabilized the rolling profile, it was found that the rate of wear of the wheel decreases greatly, the enrollment in the curve and the safety at derailment being improved. Studying this phenomenon is found that the profile, at which the rapid wear has stabilized, is similar for the wheels that have rolled under the same conditions, which is why the railway administrations have adopted the so called "wear profile".

Keywords: tread surface, wear profile, centering force, equivalent conicity, S-78

1. Introducere

Cunoașterea amănunțită a fenomenelor de contact roată-șină constituie problema fundamentală a dinamicii unui vehicul feroviar. Datorită conicităților inverse cu care sunt realizate suprafețele de rulare ale celor două roți fixate pe aceeași osie și a montării rigide a roților pe osie, osia montată va executa în mers o mișcare de șerpuire. Această mișcare este

însoțită de alunecări longitudinale, transversale și rotații ale osiei, care produc uzura roților, a a șinelor, zgomot și pierdere de energie prin căldură.

Suprafața de rulare a roții este compusă dintr-o succesiune de forme geometrice de revoluție racordate între ele, ale căror secțiuni într-un plan meridian al osiei montate sunt curbe concave, convexe sau drepte înclinate cu diferite unghiuri, determinând profilul de rulare. Profilul de rulare are două mari zone, zona buzei roții și zona de rulare a roții. Primele tipuri de roți realizate au avut profile de rulare conice, care după o perioadă scurtă de exploatare se uzau, zonele liniare devenind zone curbe [1]. Odată stabilit profilul de rulare, s-a constatat că viteza de uzură a roții scade foarte mult, înscrierea în curbă și siguranța la deraiere fiind îmbunătățite.

Studiindu-se acest fenomen, s-a constatat că profilul la care s-a stabilit uzura rapidă este similar pentru roțile care au rulat în aceleași condiții, fapt pentru care administrațiile de cale ferată au trecut la adoptarea unor „profile de uzură”. Strunjind suprafețele de rulare ale roților direct cu acest profil, s-a trecut peste zona de uzură rapidă a suprafeței de rulare, aceasta fiind o caracteristică a trecerii de la profil conic la profil de uzură.

În cazul în care osia conducătoare a vehiculului are roțile cu profil de uzură, forțele de frecare longitudinale acționează în sensul micșorării unghiului de atac, orientând astfel osia spre poziția radială, la care forța de frecare tangențială pe direcție transversală, devine nulă. La mersul în aliniament al unei roți cu profil de uzură, ghidarea osiei se realizează pe suprafețele de rulare iar buzele bandajelor constituie doar un supliment de siguranță [1].

În prezentul studiu ne propunem să analizăm comportarea diferitelor tipuri de profile ale roților vehiculelor feroviare atunci când acestea rulează pe o șină tip UIC 60.

2. Determinarea curbei de contact în cazul reprezentării profilurilor prin arce de cerc

Pentru determinarea coordonate punctelor de contact dintre un anumit profil de rulare și un anumit tip de șină, atunci când osia nu se află în poziție de atac, ea fiind decalată cu distanța y_c față de poziția mediană, trebuie cunoscute mai întâi coordonatele acestor puncte în poziție normală, atunci când $y_c = 0$.

Profilurile relevate pentru suprafața de rulare și partea superioară a șinei trebuie descrise matematic, lucru care se face uzual prin metoda polinoamelor sau metoda divizării profilului în segmente care pot fi descrise prin arce curbe de gradul al doilea, în general arce de cerc, de parabolă sau de elipsă [1]. În cazul reprezentării prin arce de cerc, cunoscând coordonatele carteziene (Y, Z) ale profilurilor relevate, curbele respective sunt realizate printr-o succesiune de arce de cerc.

Astfel, considerând un arc de cerc de rază ρ_n delimitat prin punctele de pe profil care au coordonatele (Y_n, Z_n) și (Y_{n-1}, Z_{n-1}) și care fac unghiurile de flanc γ_n și γ_{n-1} , (Fig. 1) se pot scrie următoarele relații:

$$\begin{aligned} Y_n - Y_{n-1} &= \rho_n(\sin \gamma_n - \sin \gamma_{n-1}) \\ Z_n - Z_{n-1} &= \rho_n(\cos \gamma_{n-1} - \cos \gamma_n) \end{aligned} \quad (1)$$

Pentru ca punctul de coordonate (Y_n, Z_n) de pe arcul de cerc considerat, să intre în contact cu punctul de coordonate (y_n, z_n) de pe segmentul de cerc de rază ρ_m , trebuie să avem unghiuri egale ale pantelor celor două segmente de cerc și unul dintre arce de cerc să sufere o translație corespunzătoare decalajului dintre ele:

Analiza profilurilor de uzură la vehiculele
de cale ferată

$$y_{0n} = Y_n - y_n \quad \text{și} \quad z_{0n} = Z_n - z_n.$$

Considerând două arce de cerc, unul făcând parte din profilul roții (elementele sale purtând indicele „r”) și celălalt din profilul șinei (elementele sale purtând indicele „s”), delimitate de punctele (y_{rn}, z_{rn}) și $(y_{r(n-1)}, z_{r(n-1)})$ respectiv (y_{sn}, z_{sn}) și $(y_{s(n-1)}, z_{s(n-1)})$, cu unghiurile de flanc egale în punctele de capăt, curba de contact (de decalaj) între cele două arce, $z_0 = F(y_0)$ va fi dată de ecuațiile:

$$\begin{aligned} y_{0n} - y_{0(n-1)} &= (\rho_{rn} - \rho_{sn})(\sin \gamma_n - \sin \gamma_{n-1}) \\ z_{0n} - z_{0(n-1)} &= (\rho_{rn} - \rho_{sn})(\cos \gamma_{n-1} - \cos \gamma_n) \end{aligned} \quad (2)$$

Variabila principală în sistemul (2) fiind unghiul de flanc γ , originea sistemului de referință poate fi luată arbitrar. Alegând originea acestui sistem în punctul de intersecție al cercului nominal de rulare cu profilul transversal al roții, decalajul z_0 al curbei de contact reprezintă deplasarea pe verticală a cercului nominal de rulare, atunci când roata se deplasează transversal.

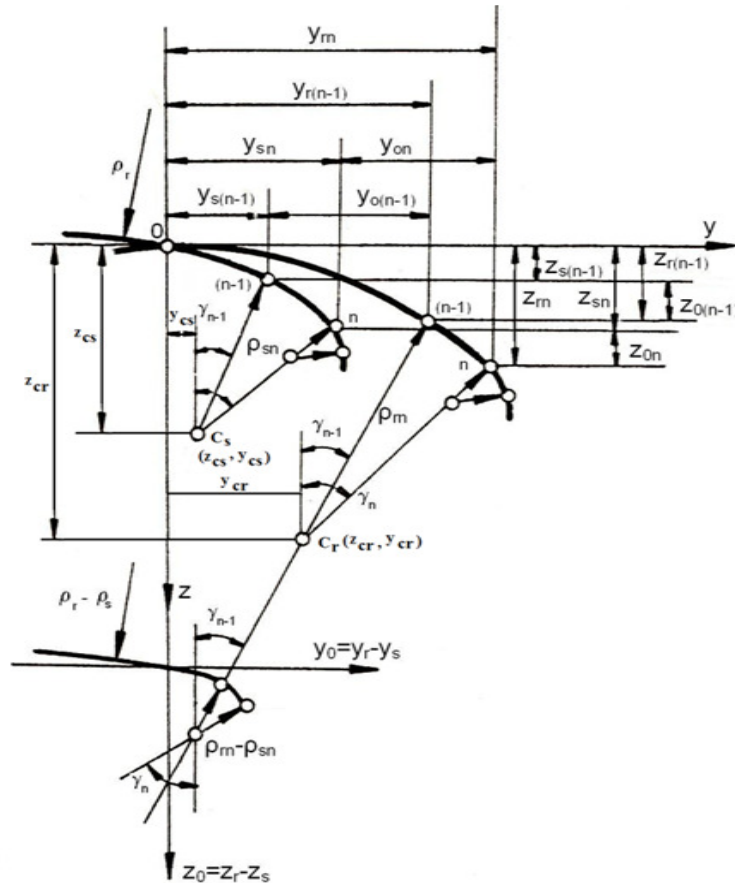


Fig. 1. Determinarea curbei de contact la reprezentarea profilurilor prin arce de cerc

Între roată și șină, funcție de curburile segmentelor aflate în contact, poate fi monocontact, bicontact sau contact conformal. Roata este în monocontact cu șina pe toate sectoarele de profil în care curburile celor două profiluri sunt de sensuri contrare sau pe sectoarele pe care profilurile au curbură de același sens, dar raza de curbură a profilului roții

este mai mare decât raza de curbură a profilului sinei. Pe diagrama curbei de contact vom avea o singură curbă a cărei pantă are o variație continuă. Cu cât diferența dintre cele două raze de curbură ale profilurilor de rulare este mai mare, cu atât este mai mare raza de curbură a curbei de contact și invers, pe măsură ce contactul roată-sină tinde să devină unul de tip conformal, raza curbei de contact scade, curba de contact corespunzătoare devine un punct, panta curbei de contact de o parte și de alta a acestui punct prezentând un salt.

Considerând că o osie montată de ecartament $2e_0$ parcurge o curbă, cele două roți ale acesteia vor avea decalaje diferite, notate z_{0e} pentru roata exterioară și z_{0i} pentru cea interioară, lucru care determină o rotire în jurul centrului său geometric cu un unghi: $\varphi = (z_{0e} - z_{0i}) / (2e_0)$, caz în care unghiurile reale de contact vor fi $\gamma_e^* = \gamma_e + \varphi$ și $\gamma_i^* = \gamma_i - \varphi$.

De regulă, această influență este neglijabilă [2].

3. DETERMINAREA CURBEI DE CONTACT ÎN CAZUL PROFILULUI S78 PENTRU ROATĂ ȘI UIC 60 PENTRU ȘINĂ

În urma cercetărilor efectuate asupra profilurilor roților care rulează pe șină UIC-60, înclinată cu 1:20, al cărei profil superior este constituit din trei arce de cerc cu razele de 300 - 80 - 13 mm, s-a constatat că profilul care își menține forma, este profilul de uzură S-78 (Fig. 2). [3].

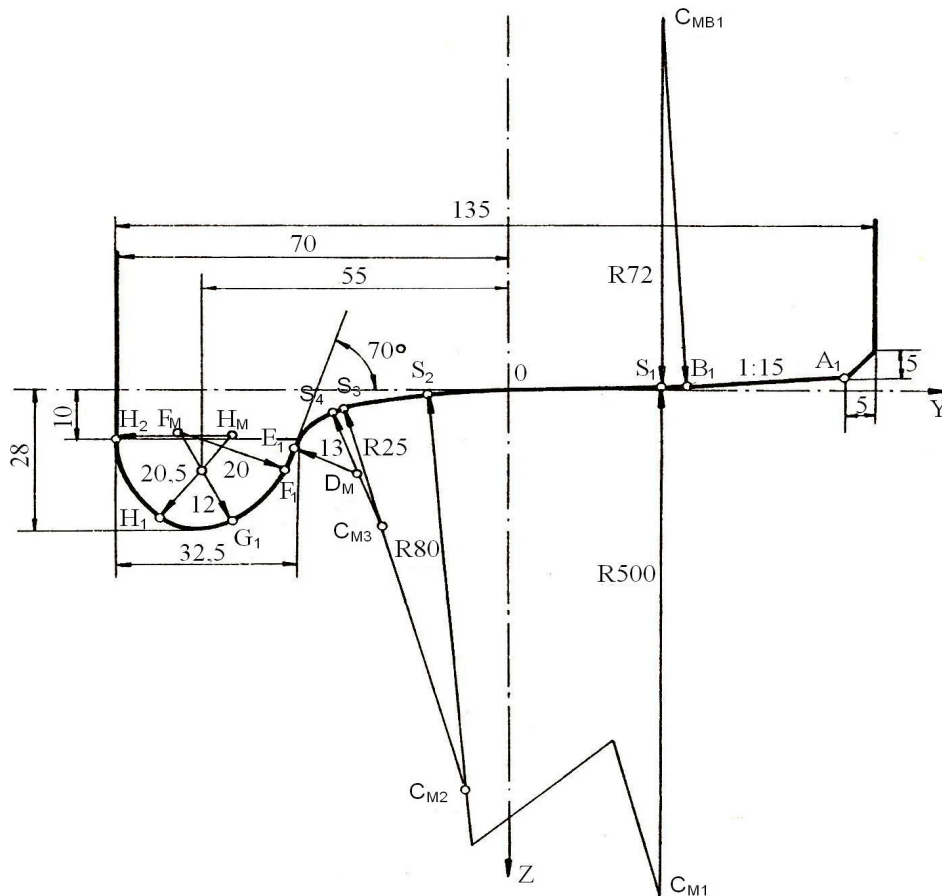


Fig. 2. Profil de uzură S-78 pentru vagon

Analiza profilurilor de uzură la vehiculele de cale ferată

Analizând continuitatea contactului cu șina (Fig. 2 și Tabelul 1), se constată că alura curbei de contact $z_0 = F(y_0)$ indică o continuitate perfectă pe toată suprafața de rulare a punctelor de contact, indiferent de decalajul transversal al osiei față de șine sau de mărimea ecartamentului, fără discontinuități sau bicontact.

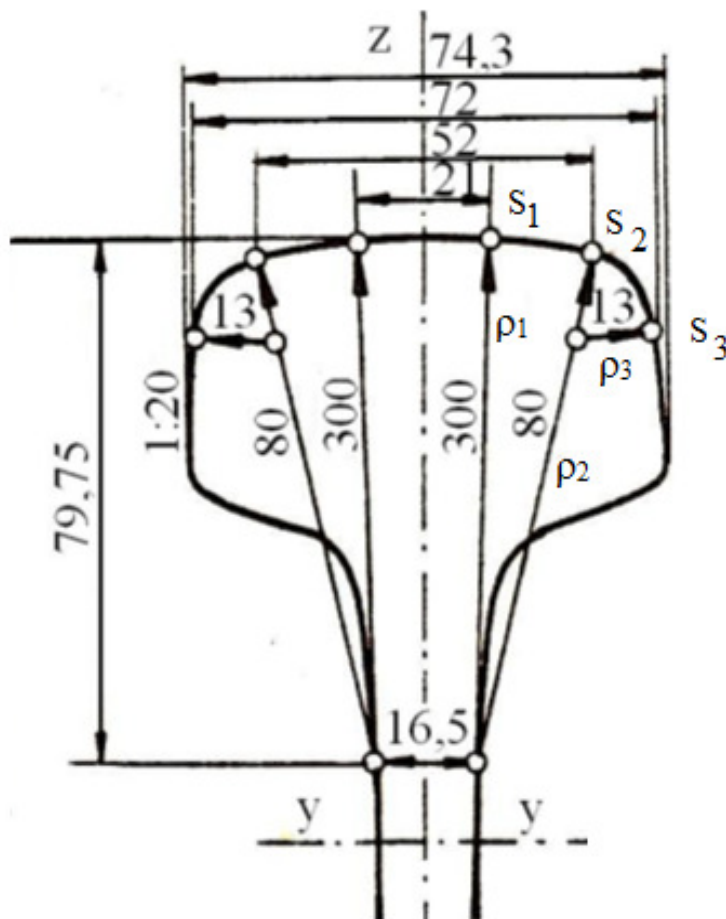


Fig. 2. Șină UIC 60

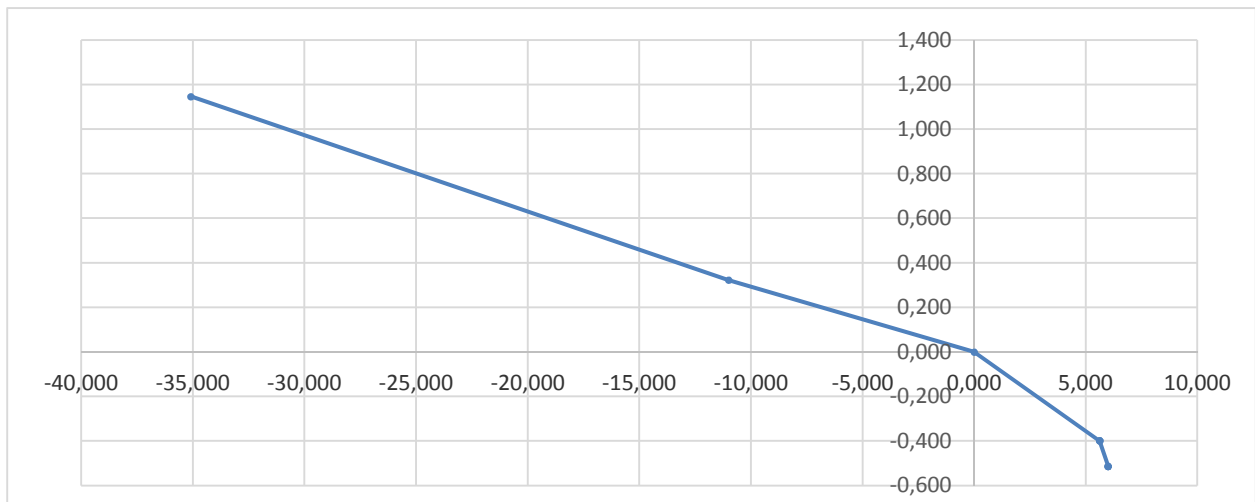
Raza de 80 mm a arcului de cerc delimitat de punctele S₂ și S₃ de pe profilul roții, este egală cu raza părții superioare a șinei dintre punctele S₁ și S₂, (Fig. 3) ceea ce determină un punct de oprire (punct dublu) pe curba de contact, realizând pe de o parte o zonă ecrusată pe profil între aceste două puncte, care va micșora viteza de uzură a zonei, chiar și la boghiurile care nu au osii orientabile sau care au anumite inexactități de paralelism. Conicitatea echivalentă a suprafeței de rulare se micșorează și creează un salt al centrajului înainte de atingerea buzei, ceea ce contribuie și la menajarea buzei la mersul în aliniament.

Tabelul 1.

Coordonatele curbei de contact pentru profilul S-78 cu șina UIC 60

Puncte de pe profil		B1	S1	0	S2	C1	S3	S4	D1	E1
Panta	$\operatorname{tg} \gamma$	0,0667	0,0018	0,0568	0,0852	0,241	0,2884	0,3245	0,9176	2,7475
Profil S-78	ρ_r [mm]	∞	-72	500	500	80	80	25	13	13
	Y_r [mm]	-32,158	-27,495	0	14,056	26	29,433	30,223	35	38,427
	Z_r [mm]	-0,964	-0,805	0	0,998	2,741	3,841	4,081	6,867	12
Șină UIC 60 1:20	ρ_s [mm]	300	300	300	300	80	80	13	13	13
	Y_s [mm]	2,931	-16,497	0	8,434	20,37	23,811	24,221	28,998	32,425
	Z_s [mm]	0,182	0,483	0	0,599	8	3,442	3,568	6,354	11,487
Curbă de contact	$\rho_r - \rho_s$ [mm]	∞	-372	200	200	0	0	12	0	0
	$y_0 = Y_r - Y_s$ [mm]	-35,089	-10,998	0	5,622	5,622	5,622	6,002	6,002	6,002
	$z_0 = Z_r - Z_s$ [mm]	-1,146	-0,322	0	0,399	0,399	0,399	0,513	0,513	0,513

La apariția forțelor mari de ghidare în curbe, buza roții se angajează pe porțiunea S_3 - S_4 cu raza de 25 mm pe flancul șinei care are raza de 13 mm, determinând o ridicare a suprafeței de rulare de la 0,399 mm la 0,513 mm, după care buza rulează pe porțiunea S_4 - E_1 cu raza de 13 mm, producând un efect de ecrusare a celor două suprafețe și nu de uzare a lor prin abraziune, (Fig.4).

Fig. 4. Curba de contact $z_0 = F(y_0)$ pentru profil S-78 pe șină UIC 60 înclinată 1:20.

Zona $E_1 - F_1$ a roții este flancul buzei care este un segment de dreaptă cu lungime de 3,911 mm și înclinația de $\gamma_b = 70^\circ$ (Fig. 5).

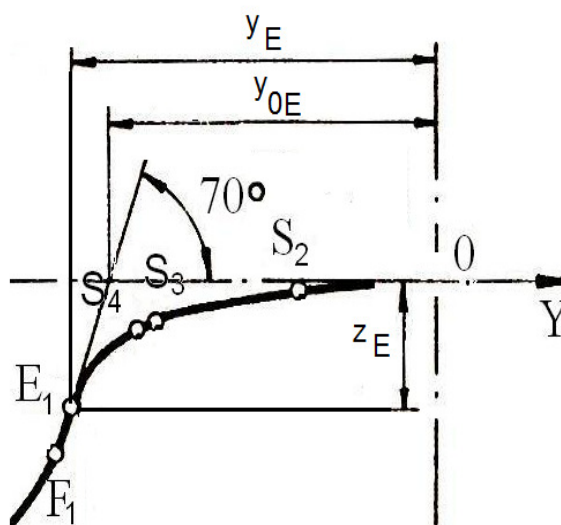


Fig. 5. Coordonatele punctului E_1 pe roată

În punctul E_1 se poate scrie relația: $tg\gamma_b = \frac{z_E}{(y_E - y_{0E})}$, în care y_{0E} este abscisa punctului de intersecție a prelungirii flancului exterior al buzei cu axa OY, (Fig.5). Considerând punctul E_1 de coordonate (y_E, z_E) ca punct final al arcului de cerc $S_4 - E_1$, rezultă că acesta este punctul „nr” de pe roată, având coordonatele (y_{rn}, z_{rn}) , din Fig.1 și Fig.5. putând fi scrise următoarele relații:

$$z_{rn} = (y_{rn} - y_{0E}) \tan \gamma_b$$

$$y_{0n} = y_{rn} - y_{sn} = y_{rn} - y_{cr} - \rho_s \sin \gamma_b$$

$$z_{0n} = z_{rn} - z_{sn} = (y_{rn} - y_{0E}) \tan \gamma_b + \rho_s \sin \gamma_b - z_{cs} \quad (3)$$

Prin eliminarea termenului y_{rn} între ultimele două relații, se ajunge la relația de dependență $z_{0n} = F(y_{0n})$, care este o dreaptă:

$$z_{0n} = (y_{0n} + y_{sn} - y_{0E}) \tan \gamma_b + \rho_s \frac{1}{\cos \gamma_b} - z_{cs} \quad (4)$$

4. DETERMINAREA CURBEI DE CONTACT ÎN CAZUL PROFILULUI UIC-ORE PENTRU ROATĂ ȘI UIC 60 PENTRU ȘINĂ

Un alt profil de uzură utilizat la vehiculele feroviare remorcate pentru roți cu diametrul cuprins între 1000 mm și 330 mm, este profilul UIC-ORE, a cărui reprezentare este redată în Fig.6.

Pe liniile magistrale din România, se utilizează în general șină tip UIC 60 înclinată cu 1:20, având caracteristicile din Fig.2 și Tabelul 1. Pentru a se studia impactul trecerii unei roți cu profil UIC-ORE peste o șină UIC 60 înclinată cu 1:20, se va trasa curba de contact (de decalaj) $z_0 = F(y_0)$, pentru acestea. Metoda aplicată este similară cu cea pentru roți cu profil S-78 care rulează pe șină UIC 60 înclinată cu 1:20, în Tabelul 2 fiind redată coordonatele curbei de contact iar în Figura 6. aceasta este reprezentată grafic.

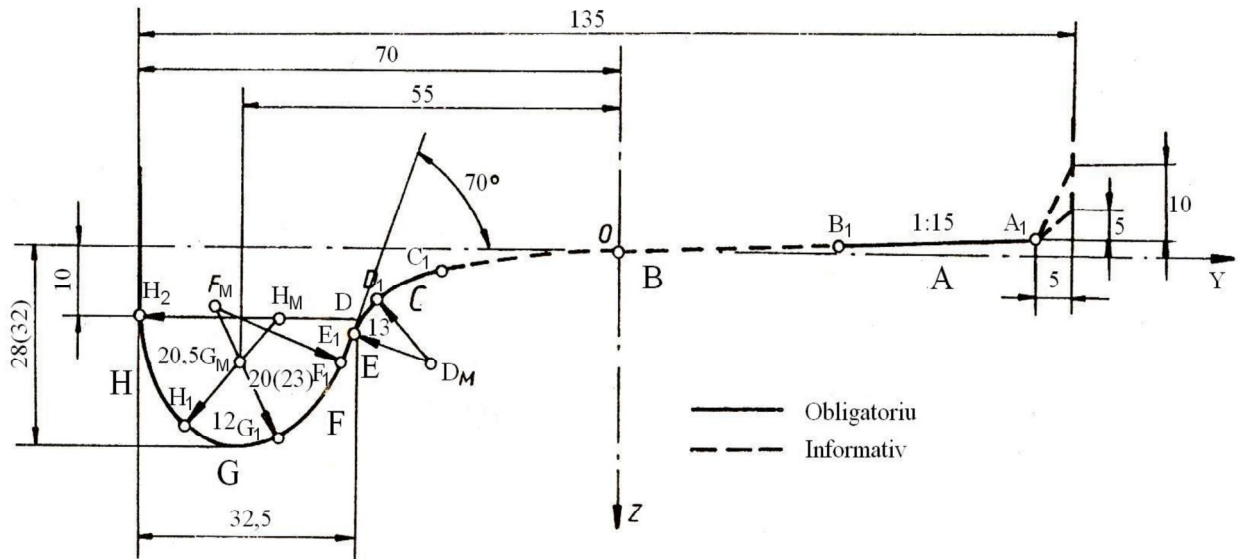


Fig. 6. Profil UIC-ORE

Tabel 2.

Coordonatele curbei de contact pentru profilul UIC-ORE cu șina UIC 60

Puncte de pe profil		B_1	I_0	O	S_2	C_1	S_3	D_1
Panta	$\text{tg } \gamma$	0,0667	0,0087	0,0336	0,0852	0,2417	0,2837	0,9176
Profil UIC-ORE	ρ_r [mm]	∞	-14	0	11,943	26	27,852	13
	Y_r [mm]	-32,158	-14	0	11,943	26	27,852	35
	Z_r [mm]	-0,78	-0,247	0	0,677	2,741	3,253	6,867
Șina UIC-60 1:20	ρ_s [mm]	300	300	300	300	80	80	13
	Y_s [mm]	9,879	-7,465	0	15,384	27,390	30,762	35,949
	Z_s [mm]	0,495	-0,158	0	0,913	2,863	3,757	6,669
Curba de contact	$\rho_r - \rho_s$ [mm]	∞						
	$y_0 = Y_r - Y_s$ [mm]	-42,037	-6,535	0	-3,441	-1,39	-2,91	-0,949
	$z_0 = Z_r - Z_s$ [mm]	-1,275	-0,089	0	-0,236	-0,122	-0,504	0,198

Din reprezentarea curbei de contact $z_0 = F(y_0)$, pentru profilul de uzură UIC - ORE care rulează pe o șina UIC 60 înclinată cu 1:20, (Fig.7 și 8). se observă discontinuitatea curbei, lucru care arată realizarea bicontactului, la atingerea buzei.

Contactul cu șina are loc numai pe porțiunea exterioară a suprafeței de rulare, de la aproximativ 1,5 mm până în punctul B_1 , de o parte și de cealaltă a punctului de inflexiune I_0 . Punctele O , S_2 , C_1 , S_3 de pe suprafața de rulare, cu coordonatele prezentate în Tabelul 2, rămân în afara contactului.

Analiza profilurilor de uzură la vehiculele
de cale ferată

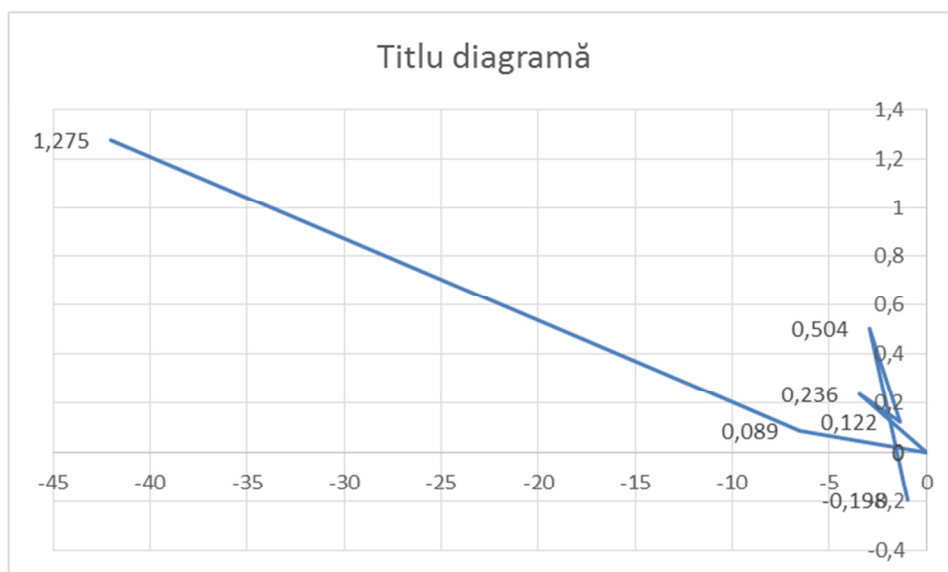


Fig. 7. Curba de contact $z_0 = F(y_0)$ pentru profil UIC-ORE pe șină UIC 60 înclinată 1:20.

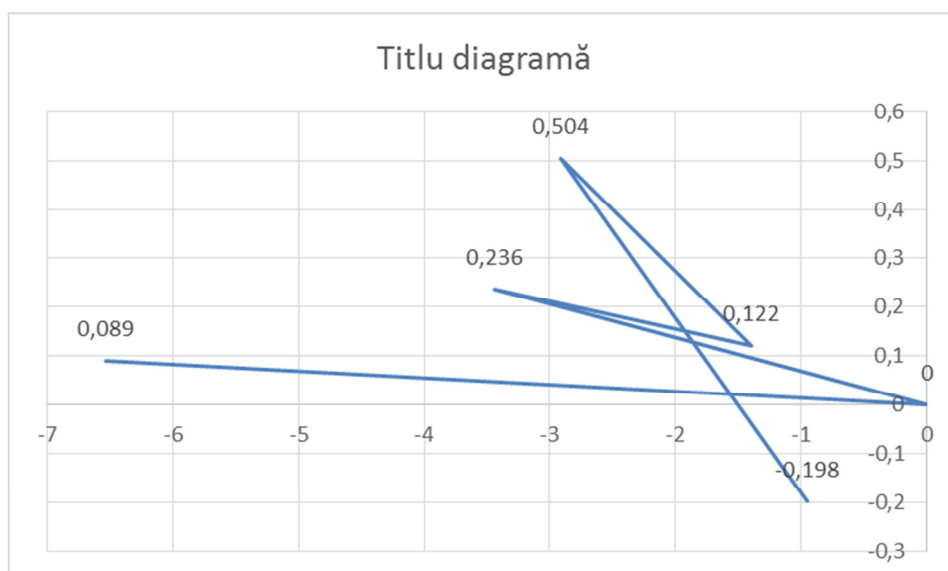


Fig. 7. Curba de contact $z_0 = F(y_0)$ pentru profil UIC-ORE pe șină UIC 60 înclinată 1:20, (detaliu).

În aceste condiții, conicitatea echivalentă fiind practic nulă, centrajul nul, profilul va rula tot timpul cu buza pe flancul șinei în bicontact, ca un profil cu suprafață de rulare conică. Aceste lucruri fac periculoasă utilizarea profilului UIC-ORE pe șină UIC 60 înclinată 1:20, deoarece în cazul roților cu buză ascuțită sau a trecerii cu viteză mare peste coturile continue sau discontinue ale căii, este posibilă deraierea. Acest profil este recomandat să se utilizeze pentru șină UIC 60 înclinată cu 1:40, unde s-a constatat că îndeplinește condițiile tribologice și funcționale specifice unui profil de uzură [3].

5. ACKNOWLEDGEMENT

The work has been funded by the Sectorial Operational Programme Human Resources Development 2007-2013 of the Ministry of European Funds through the Financial Agreement POSDRU/159/1.5/S/132395.

6. CONCLUZII

Metoda curbei de contact se bazează pe reducerea unei probleme de geometrie tridimensională la o problemă bidimensională în planul Y-O-Z, unde curbele corespunzătoare profilului roții sunt aduse în contact tangențial cu cele ale profilurilor șinelor pe care rulează.

Din analiza comportării roții cu profilul S78 în contact cu șina UIC 60 cu înclinare 1:20, utilizată pe rețelele feroviare din România, a rezultat faptul că alura curbei de contact $z_0 = F(y_0)$ indică o continuitate perfectă pe toată suprafața de rulare a punctelor de contact, indiferent de decalajul transversal al osiei față de șine sau de mărimea ecartamentului, fără discontinuități sau bicontact. Raza de 80 mm a arcului de cerc delimitat de punctele S_2 și S_3 de pe profilul roții, este egală cu raza părții superioare a șinei dintre punctele S_1 și S_2 , ceea ce determină un punct de oprire (punct dublu) pe curba de contact, realizând pe de o parte o zonă ecruisată pe profil între aceste două puncte, care va micșora viteza de uzură a zonei, chiar și la boghiurile care nu au osii orientabile sau care au anumite inexactități de paralelism. Conicitatea echivalentă a suprafeței de rulare se micșorează și creează un salt al centrajului înainte de atingerea buzei, ceea ce contribuie și la menajarea buzei la mersul în aliniament.

Din reprezentarea curbei de contact $z_0 = F(y_0)$ pentru profilul de uzură UIC - ORE care rulează pe o șina UIC 60 înclinată cu 1:20, se observă discontinuitatea curbei, lucru care arată realizarea bicontactului la atingerea buzei. Contactul cu șina are loc numai pe porțiunea exterioară a suprafeței de rulare, de la aproximativ 1,5 mm până în punctul B1, de o parte și de cealaltă a punctului de inflexiune I_0 . Punctele O, S_2 , C_1 , S_3 de pe suprafața de rulare, cu coordonatele prezentate în Tabelul 3.1, rămân în afara contactului.

În aceste condiții, conicitatea echivalentă fiind practic nulă, centrajul nul, profilul va rula tot timpul cu buza pe flancul șinei în bicontact, ca un profil cu suprafață de rulare conică, lucruri care fac impropriu utilizarea profilului UIC-ORE pe șină UIC 60 înclinată 1:20. Acest profil este recomandat să se utilizeze pentru șină UIC 60 înclinată cu 1:40, unde s-a constatat că aceasta îndeplinește condițiile tribologice și funcționale specifice unui profil de uzură.

BIBLIOGRAFIE

- [1] I. Sebeșan, *Dinamica Vehiculelor de Cale Ferată*, Editura Tehnică, București, 1995.
- [2] I. Sebeșan, T. Mazilu, *Vibrațiile Vehiculelor feroviare*, Editura MatrixRom, 2010.
- [3] I. Sebeșan, „About the synthesis of the rolling surfaces profiles of the railway vehicles wheels”, ICRE 2008 – International Conference on Railway Engineering, Hong Kong, China, 2008.