

INFLUENȚA ÎNCLINĂRII ȘINEI ASUPRA CONDIȚIILOR DE CONTACT ROATĂ-ȘINĂ

RAIL INCLINATION INFLUENCE ON WHEEL-RAIL CONTACT CONDITIONS

Asist. drd. ing. Mădălina DUMITRIU¹

¹Universitatea Politehnica din București
Splaiul Independentei, nr. 313, 060042, București, Romania
E-mail: madalinadumitriu@yahoo.com

Rezumat: În lucrare este prezentat principiul metodei curbei de contact pentru determinarea punctelor de contact roată-șină. Metoda este aplicată pentru analiza influenței înclinării șinei UIC 60 asupra condițiilor de contact cu roata cu profil S78. Se arată că înclinarea excesivă a șinei elimină avantajele profilului de uzură, prin excluderea de la contact a zonei de racordare dintre suprafața de rulare și flancul buzei, care funcționează ca o barieră de protecție a buzei roții. De asemenea, este evidențiat faptul că pentru poziția de atac a osiei în cale, la valori mari ale unghiului de atac, buza roții ajunge în contact cu șina fără a mai fi menajată de zona de racordare, ceea ce va conduce la o uzurare rapidă a acesteia.

Cuvinte cheie: contact roată-șină, curba de contact, înclinarea șinei

Abstract: The paper presents the principle of the contact curve method to determine the wheel-rail contact points. This method is applied to analyze the UIC 60 rail inclination influence on the contact conditions with a wheel of S 78 profile. It is shown that the excessive inclination of the rail deletes the advantages of the so-called profiles of wear excluding the contact on the running profile fillet between the running surface and flange, which acts like a protection barrier of flange. Also, when the wheelset takes an attack position and the attack angle is high, it is evident the fact that the contact between the wheel flange and the rail occurs without the protection due to the running profile fillet, leading to rapid wear of the flange.

Keywords: wheel-rail contact, contact curve, rail inclination

1. INTRODUCERE

Problema contactului geometric dintre roată și șină se poate pune din diferite perspective, fie ce este vorba de sinteza profilurilor roților [1, 2], performanțele dinamice ale vehiculelor feroviare [3, 4], stabilitatea mișcării [5] sau confortul oferit călătorilor [6]. Această problemă apare odată cu necesitatea determinării poziției punctelor de contact, respectiv a coordonatelor acestora, pe baza cărora se calculează vitezele de alunecare, care mai departe sub formă de pseudoalunecări intră în expresiile forțelor de frecare.

Trebuie să se remarce faptul că problema determinării punctelor de contact dintre roți și șine este o problemă de geometrie tridimensională, a cărei rezolvare sub această formă este laborioasă și dificilă [7]. Într-adevăr, luând în calcul cele două roți ale unei osii, precum și cele două șine pe care osia rulează, avem de a face cu patru suprafețe care sunt în contact. Deși, în ceea ce privește roțile, acestea au suprafețe de rotație, iar șinele pot fi considerate

suprafețe cilindrice, descrierea analitică a suprafețelor de contact nu este simplă pentru că profilul transversal al oricărei suprafețe de rulare nu are o singură formă analitică, ci este nevoie ca acesta să fie compus dintr-o succesiune de arce de curbă și segmente de dreaptă, aspect care complică foarte mult rezolvarea problemei contactului dintre roți și șine.

Majoritatea cercetărilor pe această direcție converg spre ideea reducerii problemei contactului dintre roți și șine la o problemă de contact în plan în care două curbe solidare (profilurile roților) ajung în contact tangențial cu alte două curbe (profilurile șinelor) [8]. Din acest punct de vedere, metoda curbei de contact este una dintre cele mai simple și mai eficiente [9]. Principiul acestei metode se bazează pe ideea că problema contactului se rezolvă în planul vertical–transversal pe cele două șine ale căii de rulare, utilizând profilurile normale de rulare atât pentru roți, cât și pentru șine sau, în cazul în care osia face un unghi de atac, se ia în calcul profilul aparent al roților.

Marele avantaj al metodei provine însă dintr-o simplificare și anume din neglijarea influenței unghiului de ruliu al osiei atunci când se pune condiția de contact. În acest fel, profilurile roților nu au decât mișcări de translație în plan. Cum aceste profiluri sunt considerate ca fiind simetrice și la fel și cele două profiluri ale șinei, se ajunge ca întreaga problemă a contactului dintre roți și șine să fie redusă la contactul dintre două curbe, lucru care se rezolvă prin trasarea așa-numitei curbe de contact. Aceasta face corespundența dintre punctele de pe roată și de pe șină care sunt susceptibile să ajungă în contact, respectiv între acele puncte în care tangentele la cele două profiluri sunt paralele ca urmare a neglijării influenței unghiului de ruliu al osiei. Plecând de la o anumită poziție relativă dată dintre profilul roții și cel al șinei, curba de contact arată deplasarea fiecărui punct de pe roată pentru a veni în contact cu omologul său de pe șină.

Mai trebuie arătat că, în ciuda neglijării influenței ruliului osiei în ceea ce privește condiția de contact, metoda permite totuși calculul cu o foarte bună aproximație a unghiului de ruliu al osiei pentru un anumit decalaj transversal. Acest aspect, oarecum paradoxal, se explică prin faptul că ruliul osiei rezultă din diferența dintre razele efective de rulare ale celor două roți.

În lucrare este prezentat principiul metodei curbei de contact pentru cele două poziții posibile ale osiei în cale – poziția normală și poziția de atac. Aplicarea metodei este exemplificată pentru profilul de roată S78 pe șina UIC 60. Este studiată influența înclinării șinei asupra condițiilor de contact roată-șină. De asemenea, este arătată influența unghiului de atac al osiei asupra curbei de contact și modificările care apar corelate cu unghiul de înclinare al șinei.

2. CURBA DE CONTACT PENTRU OSIA ÎN POZIȚIE NORMALĂ

Pentru aplicarea metodei curbei de contact, se pleacă de la ipoteza că profilurile de rulare sunt simetrice, iar contactul este rigid.

În figura 1, profilul roții și cel al șinei sunt reprezentate în sistemul $O_0y_0z_0$ a cărui origine coincide cu intersecția dintre cercul nominal de rulare și profilul transversal al roții – distanța $l_r = 70$ mm fixează cercul nominal de rulare în raport cu flancul interior al roții. Totodată, originea O_0 coincide cu punctul din creștetul profilului înclinat al șinei cu unghiul ε – lățimea șinei este $2l_s$.

Influența înclinării șinei asupra condițiilor de contact roată-șină

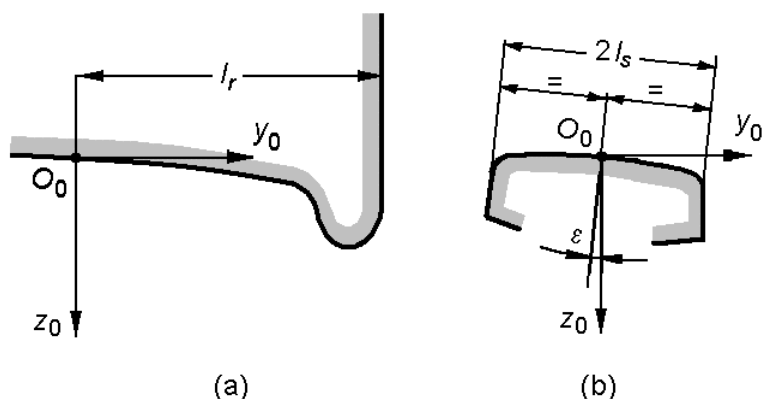


Fig. 1. Representarea profilurilor de rulare într-un sistem de referință:
(a) profilul roții; (b) profilul șinei.

În figura 2 sunt prezentate două sectoare din profilul roții și, respectiv, din cel al șinei ale căror ecuații pot fi scrise sub forma

$$z_r = z_r(y_r); \quad z_s = z_s(y_s), \quad (1)$$

unde indicele 'r' indică profilul roții, iar indicele 's' pe cel al șinei

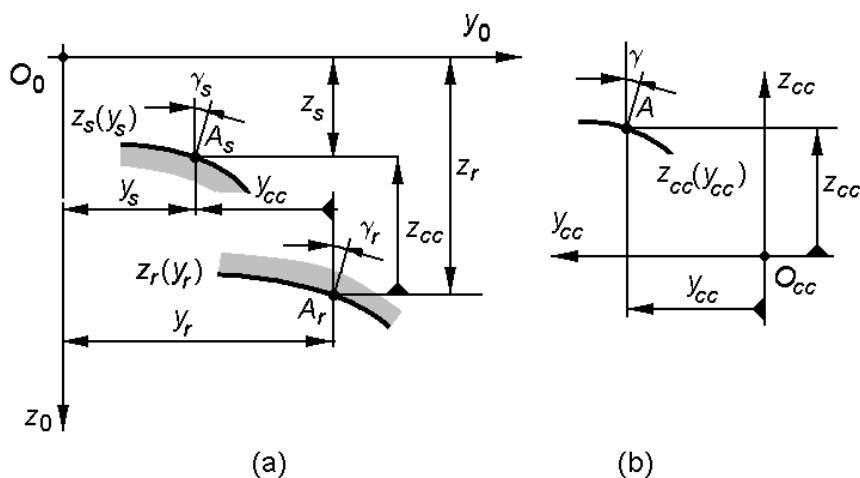


Fig. 2. Explicativă pentru construcția curbei de contact:
(a) profilurile de contact; (b) curba de contact.

Fie două puncte aparținând celor două profiluri, \$A_r\$ și \$A_s\$, de coordonate \$(y_r, z_r)\$ și \$(y_s, z_s)\$. Notând cu \$\gamma_r\$ și \$\gamma_s\$ unghiurile dintre dreptele normale la curbe cu verticala, pantele vor avea expresiile

$$\text{tg } \gamma_r = \frac{dz_r}{dy_r}; \quad \text{tg } \gamma_s = \frac{dz_s}{dy_s}. \quad (2)$$

Pentru ca cele două curbe să fie în contact în punctele considerate este nevoie ca mai întâi pantele tangențelor la curbe în aceste puncte să fie egale

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_r = \operatorname{tg} \gamma_s, \quad (3)$$

unde γ este unghiul comun de contact.

Din relațiile (2) și (3) rezultă

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{dz_r(y_r)}{dy_r} = \frac{dz_s(y_s)}{dy_s}. \quad (4)$$

Impunând o anumită valoare a unghiului de contact γ , se pot calcula abscisele y_r și y_s ale punctelor A_r și A_s care vin în contact, rezolvând pe rând cele două ecuații care se obțin din relațiile (4). Mai departe, din relațiile (1) rezultă ordonatele z_r și z_s ale punctelor de contact.

Pentru ca cele două curbe să vină în contact iar punctele de pante egale să se suprapună este nevoie ca una dintre curbe să fie translatată atât pe direcție orizontală, cât și verticală cu distanțe egale cu diferențele dintre coordonatele celor două puncte. În felul acesta se poate defini așa-numita curbă de contact care reprezintă locul geometric al punctelor din plan ale căror coordonate sunt egale cu deplasările relative dintre profilul roții și cel al șinei pentru a fi în contact.

Presupunând că se deplasează profilul roții în raport cu profilul șinei, rezultă coordonatele curbei de contact sub forma

$$y_{cc} = y_r - y_s; \quad z_{cc} = z_r - z_s, \quad (5)$$

din care se poate obține forma explicită

$$z_{cc} = z_{cc}(y_{cc}), \quad (6)$$

Sunt situații în care curbele celor două profiluri apar sub formă parametrică în funcție de unghiul de contact:

- pentru profilul roții

$$y_r = y_r(\gamma); \quad z_r = z_r(\gamma). \quad (7)$$

- pentru profilul șinei

$$y_s = y_s(\gamma); \quad z_s = z_s(\gamma). \quad (8)$$

În acest caz, trasarea curbei de contact nu mai necesită rezolvarea ecuațiilor de forma (4), aceasta obținându-se direct prin calculul coordonatelor punctelor de contact în funcție de unghiul de contact ales. Forma curbei de contact este de asemenea una parametrică, în funcție de unghiul de contact γ

$$y_{cc} = y_{cc}(\gamma); \quad z_{cc} = z_{cc}(\gamma). \quad (9)$$

În continuare, se exemplifică trasarea curbei de contact pentru cazul în care cele două profiluri sunt arce de cerc (fig. 4). Profilul roții este reprezentat de arcul de cerc cu centrul C_r de coordonate (y_{or}, z_{or}) și rază ρ_r , iar profilul șinei de arcul de cerc cu centrul C_s de coordonate

Influența înclinării șinei asupra condițiilor de contact roată-șină

(y_{os}, z_{os}) și rază ρ_s . Se consideră două puncte oarecare de pe cele două arce de cerc, respectiv punctul A_r de pe roată de coordonate (y_r, z_r) și punctul A_s de pe șină, de coordonate (y_s, z_s) . Unghiurile de contact în punctele considerate sunt notate cu γ_r și γ_s .

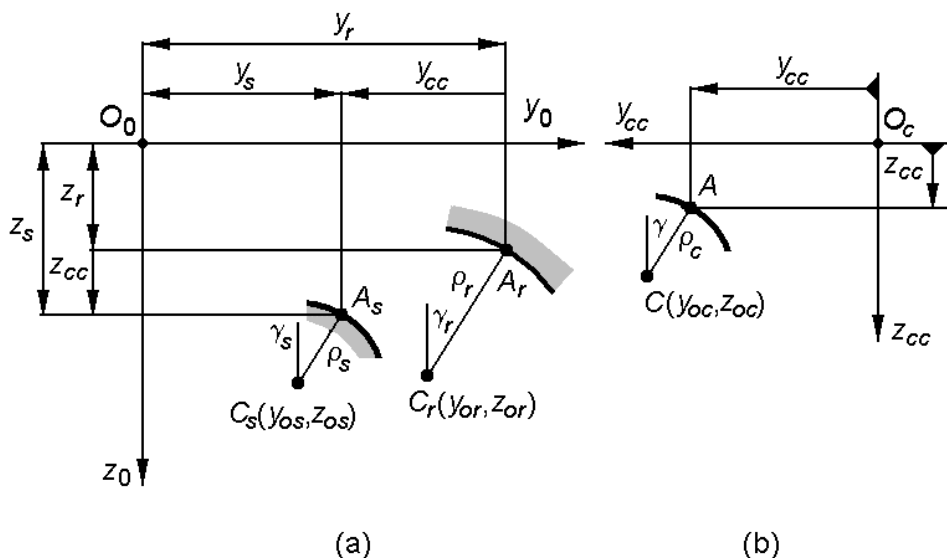


Fig. 4. Explicativă pentru construcția curbei de contact în cazul profilurilor reprezentate prin arce de cerc: (a) profilurile de rulare; (b) curba de contact.

Ecuțiile parametrice ale celor două arce de cerc sunt:

- pentru roată

$$y_r = y_{or} + \rho_r \sin \gamma_r; \quad z_r = z_{or} - \rho_r \cos \gamma_r. \quad (10)$$

- pentru șină

$$y_s = y_{os} + \rho_s \sin \gamma_s; \quad z_s = z_{os} - \rho_s \cos \gamma_s. \quad (11)$$

Se face observația că valoarea razei de curbură ρ_r se ia cu semnul negativ în cazul în care profilul roții are curbura inversă decât cea din figura 4.

Cele două puncte sunt susceptibile să vină în contact dacă unghiurile de contact sunt egale ($\gamma_r = \gamma_s = \gamma$) și dacă profilul roții este translatat corespunzător curbei de contact dintre cele două profiluri. Așadar, conform definiției și relațiilor (5), curba de contact ia forma parametrică

$$y_{cc} = y_r - y_s = (y_{or} - y_{os}) + (\rho_r - \rho_s) \sin \gamma; \quad (12)$$

$$z_{cc} = z_r - z_s = (z_{or} - z_{os}) - (\rho_r - \rho_s) \cos \gamma$$

sau

$$y_{cc} = y_{oc} + \rho_c \sin \gamma; \quad (13)$$

$$z_{cc} = z_{oc} - \rho_c \cos \gamma,$$

care reprezintă ecuația parametrică a cercului de centru $C(y_{oc}, z_{oc})$ ale cărui coordonate sunt date de relațiile

$$y_{oc} = y_{or} - y_{os}; z_{oc} = z_{or} - z_{os} \quad (14)$$

și rază $\rho_c = \rho_r - \rho_s$.

Se observă faptul că arcul de cerc corespunzător curbei de contact degenerază într-un punct unghiular atunci când razele profilurilor de rulare sunt egale. În această eventualitate, are loc un salt de pantă în dreptul punctului unghiular.

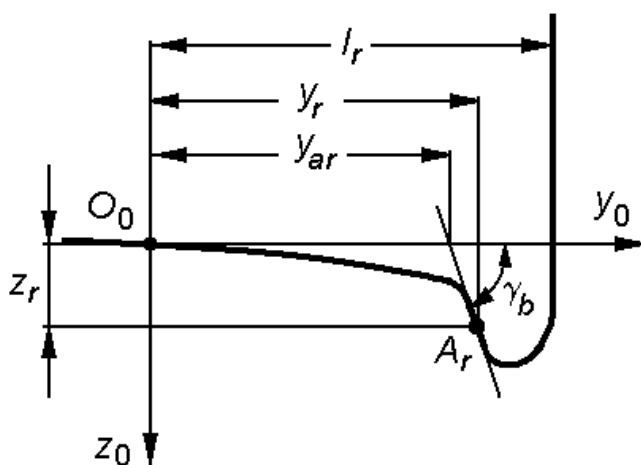


Fig. 5. Explicativă pentru forma analitică a flancului exterior al buzei.

Pe buza roții (fig. 5), forma profilului este un segment de dreaptă cu unghiul de flanc γ_b , situație în care ecuația (1) trebuie să ia forma

$$z_r = (y_r - y_{ar}) \operatorname{tg} \gamma_b, \quad (15)$$

în care y_{ar} este abscisa punctului de intersecție a prelungirii flancului exterior al buzei cu axa O_0y_0 .

Dacă se introduce z_r din (15) în relațiile (12) se obțin mai întâi

$$y_{cc} = y_r - y_s = y_r - y_{os} - \rho_s \sin \gamma_b; \quad (16)$$

$$z_{cc} = z_r - z_s = (y_r - y_{ar}) \operatorname{tg} \gamma_b - z_{os} + \rho_s \cos \gamma_b,$$

iar apoi, prin eliminarea lui y_r , se ajunge la următoarea formă a curbei de contact

$$z_{cc} = (y_{cc} + y_{os} - y_{ar}) \operatorname{tg} \gamma_b - z_{os} + \frac{\rho_s}{\cos \gamma_b}, \quad (17)$$

care în mod evident este o dreaptă.

Acum, în ceea ce privește semnificația curbei de contact, trebuie remarcat faptul că aceasta este legată de posibilitatea ca cele două profiluri să fie în monocontact sau bicontact, ori în contact conformal (fig. 6). Astfel, roata este în monocontact cu șina pe toate sectoarele de profil în care curburile celor două profiluri sunt de sensuri contrare. Totodată, pe sectoarele pe care profilurile au curburi de același sens, roata este în monocontact cu șina atât timp cât raza de curbură a profilului roții este mai mare decât raza de curbură a șinei. Aspectul menționat este semnalat pe diagrama curbei de contact prin faptul că aceasta ia forma unei singure curbe 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-șină tinde să devină unul de tip conformal, raza curbei de contact scade. În cazul contactului conformal pur, când razele de curbură ale celor două profiluri sunt egale pe un anumit sector, iar contactul dintre acestea este chiar acel sector, curba de contact corespunzătoare degenerază într-un punct. Panta curbei de contact, de o parte și de alta a punctului respectiv, prezintă un salt.

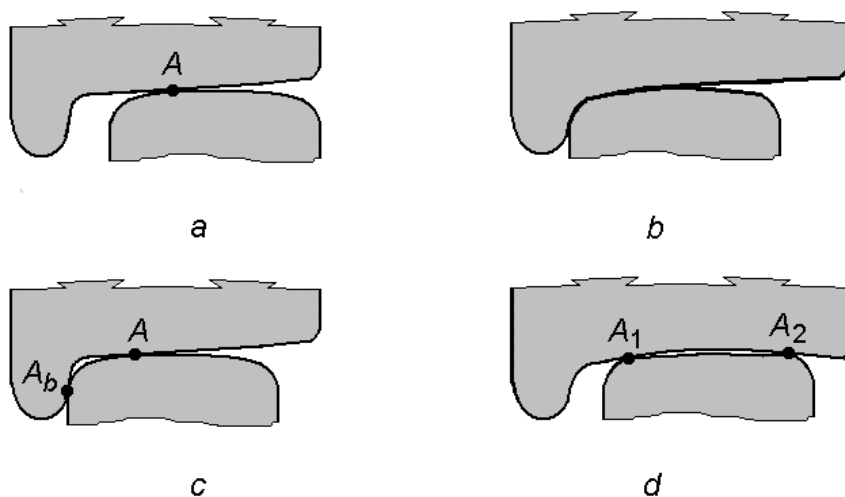


Fig. 6. Tipuri de contact roată-șină:

- a. monocontact;
- b. contact conformal;
- c. bicontact pe suprafața de rulare;
- d. bicontact între flancul buzei și suprafața de rulare;

În fine, dacă raza de curbură a profilului roții este mai mică decât raza de curbură a profilului șinei, contactul pe acel sector nu mai este posibil, iar curba de contact prezintă ramuri suprapuse și puncte de rebrusment. Se precizează că în acest caz al bicontactului, la un anumit decalaj transversal roată-șină determinat de o anumită valoare a abscisei y_{cc} a curbei de contact, contactul are loc pe ramura a cărei ordonată z_{cc} este mai mare.

Exemplificarea aspectelor prezentate mai sus este ilustrată în figurile 7-9 în care sunt reprezentate curbele de contact ale profilului de uzură S78 pe șina UIC 60, pentru care în tratarea problemei propusă în lucrare se consideră înclinările de 1/20, 1/19 și 1/17. Trebuie precizat faptul că profilul S78 este format din arce de cerc cu razele de 72 mm, 500 mm, 80 mm, 25 mm și 13 mm, după care urmează flancul buzei înclinat la 70°. Pe de altă parte, profilul șinei are 3 arce de cerc cu razele de 300 mm, 80 mm și 13 mm [9].

În figura 7 este trasată curba de contact a profilului de uzură S78 pentru șina UIC 60 cu înclinarea standard la CFR de 1/20. Se pot observa 5 arce de cerc notate AB, BC, CD, DE și respectiv EF ale căror raze au următoarele valori: 372 mm, 152 mm, 420 mm, 200 mm și

12 mm. De asemenea, curba de contact are în componere și segmentul FG care provine din contactul pe flancul exterior al buzei.

Arcul AB corespunde contactului dintre arcul de rază 72 mm de pe roată și arcul de rază 300 mm de pe șină, cele două arce având curburi opuse. Arcul BC arată contactul dintre arcul de rază 72 mm de pe roată și arcul de rază 80 mm de pe șină, cele două arce au de asemenea curburi opuse. Mai departe, arcul CD este rezultatul contactului dintre arcul de pe profilul roții de rază 500 mm și arcul de rază 80 mm de pe șină. Apoi, contactul se mută pe arcele de rază 500 mm pe roată și de 300 mm de pe șină. Punctul E este punct unghiular și corespunde contactului conformal dintre cele două arce de 80 mm de pe roată și șină.

În fine, arcul EF corespunde contactului din zona torului de gât unde arcul de 25 mm vine în contact cu arcul de 13 mm de pe șină. Punctul F este de asemenea punct unghiular datorat contactului dintre arcele de 13 mm de la torul de gât și respectiv, de pe flancul interior al șinei. Ultima porțiune luată în calcul a curbei de contact este segmentul de dreaptă FG care, așa cum s-a menționat mai sus, reprezintă contactul dintre flancul buzei și arcul de 13 mm de pe șină.

Trebuie arătat că prin rularea roții pe porțiunea cu raza de curbură de 80 mm, egală cu raza șinei, se realizează o ecruisare a profilului în această zonă și, deci, o reducere a uzurii.

În situația în care înclinarea șinei este de 1/19 (fig. 8) sau 1/17 (fig. 9) se observă ramurile suprapuse ale curbei de contact, ceea ce indică apariția bicontactului. Acest aspect este evidențiat în detaliile incluse în figurile 8 și 9. Punctele de bicontact rezultă la intersecția ramurilor suprapuse (punctele M).

Dacă șina este înclinată cu 1/19, intersecția ramurilor care compun curba de contact arată că bicontactul se realizează la intersecția arcului de cerc cu raza de 200 mm cu cel cu raza de 12 mm. Deci, bicontactul se produce numai pe suprafața de rulare, respectiv pe arcele de cerc ale profilului roții de 500 mm și 25 mm.

Pentru o înclinare a șinei cu 1/17, curba de contact indică, de asemenea, producerea bicontactului, dar de această dată contactul roată-șină se produce atât pe suprafața de rulare a roții, cât și pe flancul șinei. În această situație zona de racordare dintre suprafața de rulare și flancul buzei este exclusă de la contact, nemaiapărând condițiile ecruisării suprafețelor de rulare.

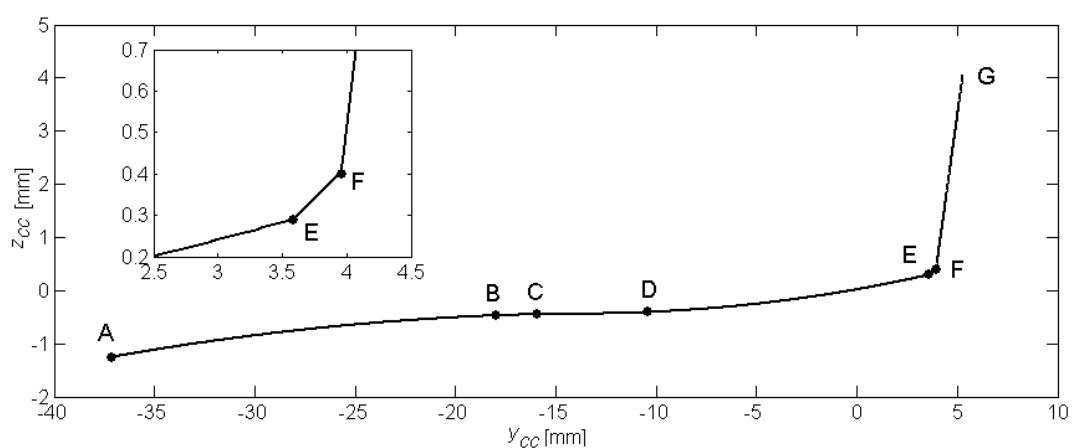


Fig. 7. Curba de contact a profilului S-78 pe șina UIC 60 înclinată 1/20.

Influența înclinării șinei asupra condițiilor de contact roată-șină

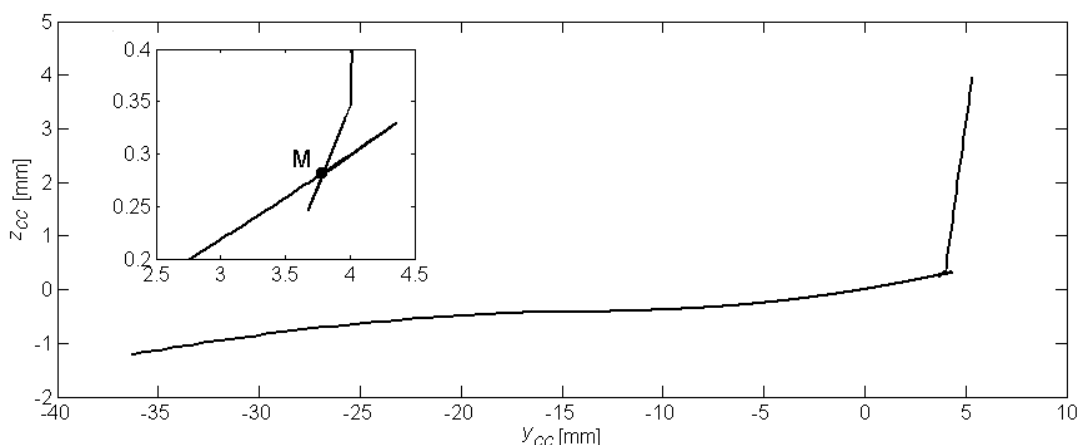


Fig. 8. Curba de contact a profilului S-78 pe șina UIC 60 înclinată 1/19.

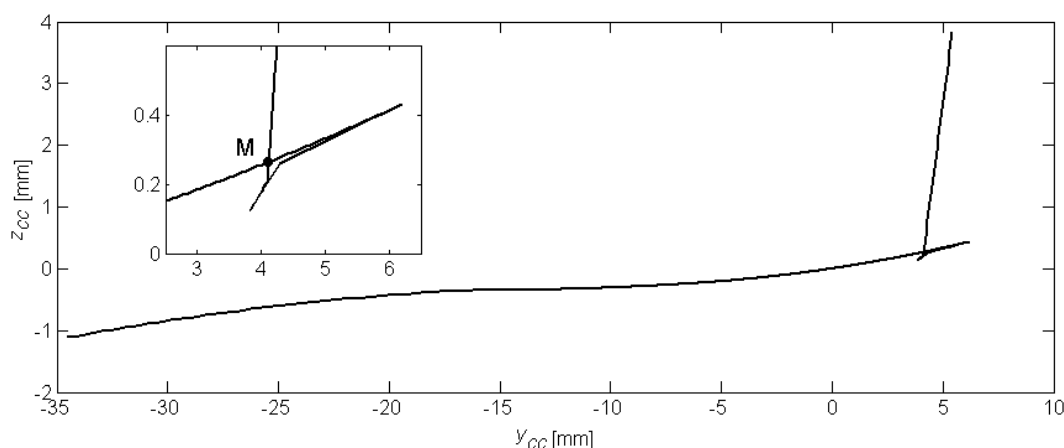


Fig. 9. Curba de contact a profilului S-78 pe șina UIC 60 înclinată 1/17.

Înclinarea excesivă a șinei poate elimina avantajele profilului, prin faptul că acesta nu mai poate rula pe arcul de cerc cu raza de 25 mm, care funcționează ca o barieră de protecție a buzei roții, ceea ce va conduce la uzura excesivă a acesteia. Prin urmare, se impune necesitatea de a limita unghiul de înclinare al șinei la 1/19-1/18.

3. CURBA DE CONTACT PENTRU OSIA ÎN POZIȚIE DE ATAC

Relațiile (5) și (6) de calcul a coordonatelor curbei de contact sunt generale și de aceea pot fi aplicate și în cazul în care osia ocupă o poziție de atac, adică este rotită în jurul axei verticale. În această situație, este nevoie să se determine profilul aparent al roții în funcție de mărimea unghiului de atac.

Când osia ocupă o poziție normală în cale, proiecția secțiunilor radiale ale roții pe planul transversal al căii sunt segmente de dreaptă având lungimea egală cu diametrul secțiunii. Punctele extreme ale tuturor segmentelor determină profilul normal al roții. Dacă osia ia o poziție de atac, atunci proiecțiile secțiunilor radiale ale roții pe planul transversal al căii formează o familie de elipse, iar înfășurătoarea acestei familii reprezintă profilul aparent al roții. Este evident că în această situație contactul dintre roată și șina pe care aceasta rulează se face după profilul aparent al roții.

În ceea ce privește profilul aparent al roții, trebuie remarcate câteva deosebiri importante în raport cu profilul normal din care acesta provine. Astfel, dacă discutăm despre cele două roți ale unei osii, punctele de contact de pe roți nu vor mai fi situate în planul median al osiei, ci ele vor fi decalate înaintea sau în urma acestui plan în funcție de orientarea unghiului de atac și de roata considerată. Pe suprafața de rulare, unde unghiul de flanc este mic, decalajele sunt foarte mici și din acest motiv pot fi neglijate. Dacă punctul de contact este situat pe flancul exterior al buzei, atunci decalajul longitudinal crește putând atinge, spre exemplu, 22,5 mm în cazul în care raza cercului efectiv de contact este 470 mm, unghiul de flanc al buzei 70° și unghiul de atac de 1° . O altă diferență între profilul normal și cel aparent se referă la faptul că unghiul de contact este mai mare pentru profilul aparent. În fine, un ultim aspect interesant este legat de raza de curbură, care la profilul aparent se modifică în raport cu cea a profilului normal, ceea ce face posibil ca în anumite situații contactul conformal să devină bicontact.

Pentru a calcula profilul aparent al roții în vederea determinării curbei de contact se atașează osiei sistemul de referință $Gper$ astfel încât originea G să coincidă cu centrul de masă, axa Gp să fie orientată pe direcție longitudinală, axa Ge pe direcție transversală, iar axa Gr pe direcție verticală (fig. 10). Se consideră că osia ocupă o poziție mediană în cale, dar rotită cu un anumit unghi de atac α . Pe de altă parte, se atașează căii sistemul de referință triortogonal $Oxyz$ a cărui origine O coincide cu cea a reperului $Gper$, iar planul Oyz este plan transversal pe cale, axa Ox este orientată longitudinal și se suprapune peste axa Op . Se consideră punctul A_m de pe profilul normal al roții, ale cărui coordonate în raport cu sistemul de referință $Gper$ sunt $(0, e, r)$. Când osia are o poziție normală față de cele două fire ale căii, acest punct ar putea deveni punct de contact în anumite condiții legate de decalajul transversal al osiei.

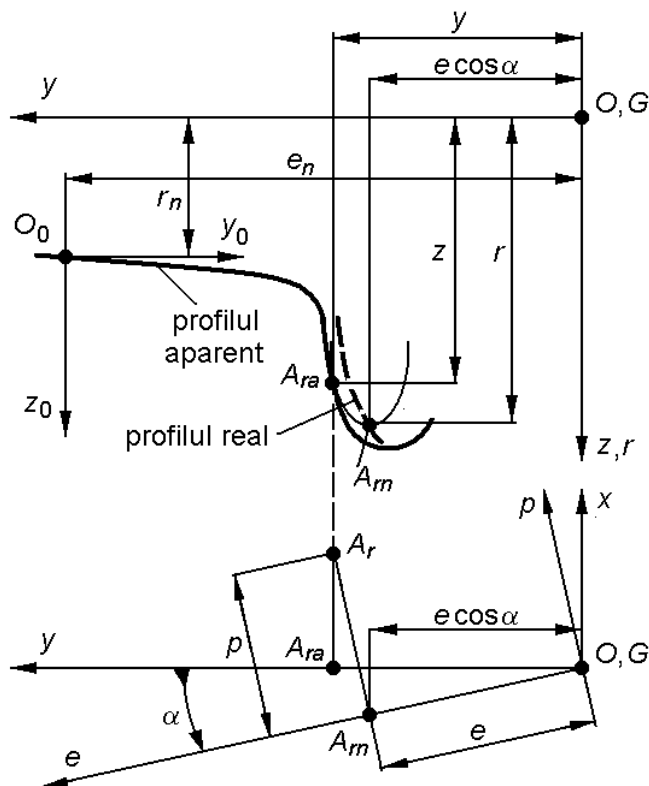


Fig. 10. Explicativă pentru profilul aparent al roții.

Influența înclinării șinei asupra condițiilor de contact roată-șină

Odată cu rotirea osiei în jurul axei verticale, profilul roții după care se face contactul cu șina se modifică așa cum s-a arătat mai sus, astfel încât contactul va fi posibil acum în punctul A_r , care va lua astfel locul punctului A_{rn} . Punctul A_r se află pe aceeași secțiune circulară a roții ca și punctul A_{rn} , dar nu va mai fi în planul meridian, ci va ocupa o poziție decalată cu p . Așadar, coordonatele punctului de contact în raport cu referențialul osiei $Gper$ sunt (p, e, r) . Proiecția acestuia pe planul transversal Oyz este punctul A_{ra} care are coordonatele $(0, y, z)$ față de referențialul căii $Oxyz$ și care aparține profilului de contact al roții când osia ia o poziție de atac, respectiv aparține profilului aparent.

Pentru calculul coordonatelor punctului A_{ra} se pot aplica relațiile binecunoscute [9]

$$y = e \cos \alpha + r \operatorname{tg} \gamma \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha}; \quad (18)$$

$$z = r \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \gamma}. \quad (19)$$

De asemenea, unghiul de contact corespunzător este dat de relația

$$\sin \gamma_a = \frac{\sin \gamma}{\cos \alpha}. \quad (20)$$

Pentru trasarea curbei de contact este nevoie ca mai întâi profilul aparent al roții să fie raportat la referențialul local $O_0y_0z_0$

$$y_r = e_n - y; \quad z_r = z - r_n, \quad (21)$$

unde (e_n, r_n) reprezintă coordonatele punctului de pe cercul nominal de rulare.

Acum, prin aplicarea relațiilor (6) se poate trasa curba de contact având în vedere ca unghiul de contact de pe profilul șinei să fie tot γ_a .

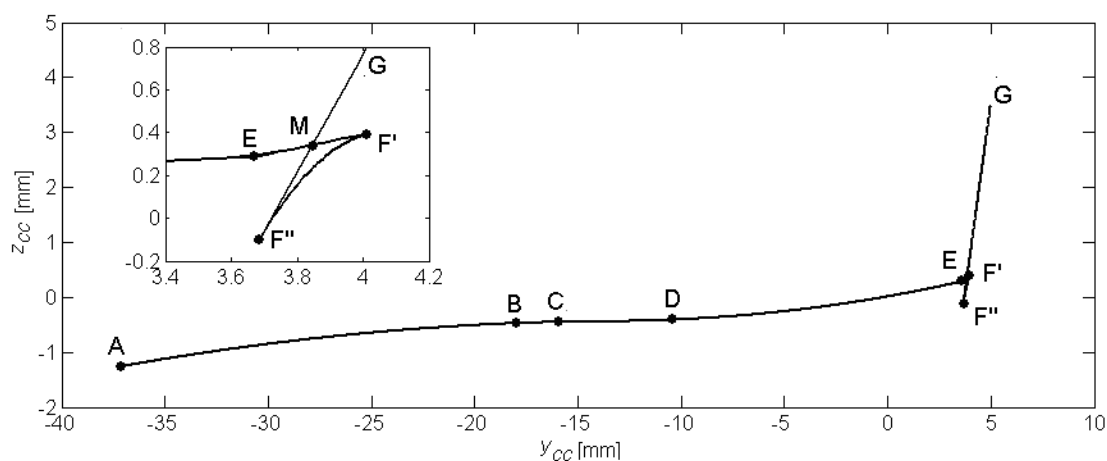


Fig. 11. Curba de contact a profilului S-78 pe șina UIC 60 înclinată 1/20 pentru un unghi de atac de 1° .

Exemplificăm cele de mai sus prin diagrama curbei de contact construită pentru profilul de roată S78 pe șină UIC 60 înclinată 1/20, pentru un unghi de atac de 1° (17,4533 mrad) (v. fig. 11). În general, unghiul de atac fiind mic, forma curbei de contact nu prezintă

modificări sensibile în raport cu cea obținută în cazul în care osia ocupă o poziție normală în cale (v. fig. 7). Cu toate acestea, datorită unghiului de atac, punctul unghiular F se transformă în două puncte de rebrusment notate pe figură cu F' și F". Se constată prezența ramurilor suprapuse în zona torului de gât, ceea ce indică faptul că profilurile de rulare ajung în bicontact. Cu alte cuvinte, contactul conformal, care se produce când osia ia o poziție normală în cale, se transformă în bicontact atunci când osia ocupă o poziție de atac. Punctul de bicontact corespunde punctului M. Așadar, linia contactului vine pe ramura EM care corespunde torului de gât, iar apoi continuă pe ramura MG. Trebuie observat faptul că segmentul EM este mai mic decât cel corespunzător situației în care osia ocupă o poziție normală, ceea ce arată reducerea eficienței barierei de protecție a buzei.

Trebuie spus că valoarea de 1° a unghiului de atac este mare pentru circulația pe magistrale unde nu se întâlnesc curbe cu raze mai mici de 250-300 m, mai ales în cazul circulației în regim de insuficiență de supraînălțare care este tipic vehiculelor de călători. Pentru unghiuri de atac mai mici ($\alpha = 0,5$), situație prezentată în fig. 12, bicontactul apare după ce a fost parcursă cea mai mare parte din zona de racordare, ceea ce nu afectează calitățile profilului.

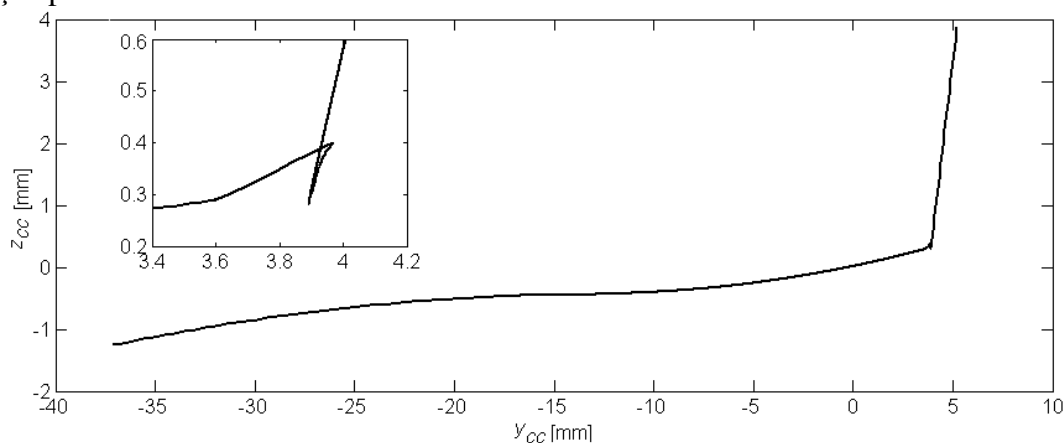


Fig. 12. Curba de contact a profilului S-78 pe șina UIC 60 înclinată 1/20 pentru un unghi de atac de $0,5^\circ$.

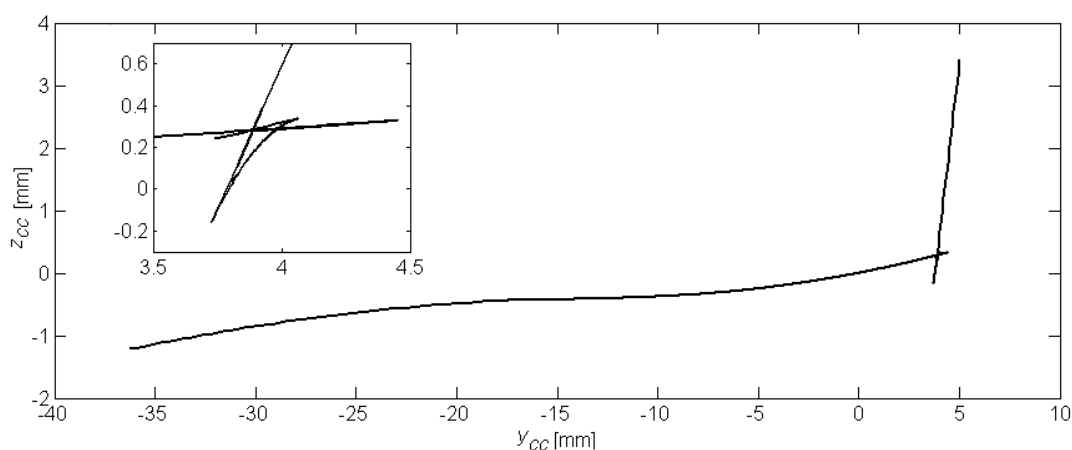


Fig. 13. Curba de contact a profilului S-78 pe șina UIC 60 înclinată 1/19 pentru un unghi de atac de 1° .

În figura 13 se arată efectul cumulat al înclinării șinei și al unghiului de atac. Sunt luate în calcul unghiul de atac de 1° și o înclinare a șinei de 1:19. Deși luate separat, aceste

abateri nu afectează prea mult performanțele de rulare ale profilului, totuși suprapunerea lor conduce la compromiterea acestor performanțe: buza rămâne fără protecția torului de gât.

4. CONCLUZII

Metoda curbei de contact reprezintă o metodă simplă și eficientă care poate fi aplicată pentru rezolvarea problemei contactului dintre roată și șină și cu ajutorul căreia se pot determina coordonatele punctelor de contact. Principiul metodei are la bază ideea reducerii unei probleme de geometrie tridimensională la o problemă de contact în plan în care curbele corespunzătoare profilurile roților ajung în contact tangențial cu alte două curbe reprezentate de profilurile șinelor. Se lucrează cu profilurile normale ale roților și ale șinelor dacă osia ocupă o poziție normală în cale sau, în cazul în care osia face un unghi de atac, cu profilul aparent al roților.

În lucrare, metoda este aplicată pentru analiza influenței înclinării șinei asupra condițiilor de contact roată-șină. În cazul osiei în poziție de atac analiza se realizează prin considerarea celor doi factori susceptibili să modifice condițiile de contact – unghiul de înclinare al șinei și unghiul de atac al osiei.

Exemplificarea se face pentru roata cu profil S78 în contact cu șina utilizată pe rețelele feroviare din România, UIC 60, având o înclinare standard de 1/20. Modificarea înclinării șinei, care poate surveni în timpul construcției sau exploatării căii de rulare, conduce la modificarea condițiilor de contact roată-șină. Este vorba de posibilitatea eliminării de la contact a zonei de racordare dintre suprafața de rulare a roții și flancul buzei, care funcționează ca o barieră de protecție a buzei, fapt ce are ca urmare o uzare rapidă a acesteia. În acest context, se arată necesitatea limitării unghiul de înclinare al șinei la 1/19-1/18 prin acțiuni de mentenanță corespunzătoare.

Un alt factor care conduce la aceleași probleme din punct de vedere al modificării condițiilor de contact dintre roată și șină este unghiul de atac al osiei. Astfel, pentru poziția de atac a osiei în cale, la valori mari ale unghiului de atac, buza roții ajunge în contact cu șina fără a mai fi menajată de zona de racordare. Efectele sunt aceleași ca și în cazul unei înclinări excesive a șinei și anume modificări ale profilului roții, respectiv uzarea buzei profilului ale cărei dimensiuni au rol deosebit de important din punct de vedere al siguranței circulației vehiculelor feroviare.

Referințe

- [1] **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.
- [2] **I.Y. Shevtsov, V.L. Markine, C. Esveld**, „*Optimal design of wheel profile for railway vehicles*”, *Wear*, vol. 258, 2005, 1022–1030.
- [3] **A. Anyakwo, C. Pislaru, A. Ball**, „*A new method for modelling and simulation of the dynamic behaviour of the wheel-rail contact*”, *International Journal of Automation and Computing*, 9(3), June 2012, pp. 237-247.
- [4] **C. Dabin, L. Li, J. Xuesong, L. Ling**, „*Wheel-rail profiles matching design considering railway track parameters*”, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 23, no. 3, 2010, pp. 1-8.

- [5] **T. Mazilu**, „*Some aspects of the elastic wheel/rail bi-contact*”, Proceedings of 9th IFToNN International Symposium on Theory of Machines and Mechanisms, 1-4 septembrie 2005, București, Romania, Editura Printech, vol. 2, pag. 547-552.
- [6] **J. Alizadeh, H. Tavakkoli, R. Ghajar**, „*The influence of tread hollowing of the railway wheels on the ride comfort of a coach*”, Proceedings of the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2011, November 11-17, 2011, Denver, Colorado, USA, pp. 1-7.
- [7] **S. Falomi, M. Malvezzi, E. Meli, A. Rindi**, „*Determination of wheel–rail contact points: comparison between classical and neural network based procedures*”, Meccanica, 2009, vol. 44, pp. 661–686.
- [8] **M. Malvezzi, E. Meli, S. Falomi, A. Rindi**, „*Determination of wheel–rail contact points with semianalytic methods*”, Multibody System Dynamic, 2008, vol. 20, pp. 327–358.
- [9] **I. Sebeșan**, „*Dinamica vehiculelor feroviare*”, Editura MatrixRom, 2011.