



POVEĆANJE RADA I BEZBJEDNOSTI PREVOZA ŽELJEZNICE OPTIMIZACIJOM DINAMIČKOG ODNOSA „TOČAK-ŠINA“ KAO PUT ZA POVEĆANJE EKONOMIČNOSTI

Mr Duško Tešanović, dipl.el.inž.,
Visoka železnička strukovna škola, Ul.Zdravka Čelara13, Beograd, Srbija,
00381 63 212 185, tesanovic.dusko@yahoo.com

Mr Nijaz Pužić, dipl.saobr.inž.,
Željeznica FBiH, Musala 2, 71000 Sarajevo, BiH,
00387 61 132 913, nijaz.puzic@bih.net.ba

V. prof. dr Marko Vasiljević, dipl.saobr.inž., Saobraćajni fakultet, Doboj, BiH,
0038765 513 249; mail: drmarkovasiljevic@gmail.com

Prof.emeritus dr Relja Jovanović, dipl.inž.maš., Sarajevo, BiH,
00 387 62 942 114 i 00381 64 972 45 10;; rvjovanovic@gmail.com

Sažetak: U radu se daje stav da je, posebno u stanju umanjenog prevoza, povećanje ekonomičnosti rada, komfora vožnje i bezbjednosti u ovoj grani saobraćaja, moguće ostvariti dinamičkom optimizacijom odnosa u tačkama dodira "točak-šina". Za uspješno provođenje projekata na predmetnu temu neophodno je da postoji multidisciplinarni, kompetentan lider projekta, kako bi se izbjegao strukovni pristup problemu, jer on ne vodi rješenju uzroka ubrzanog trošenja točkova i šina, odnosno narušavanju kvaliteta vozila i kolosijeka u odnosu na važeće EN/UIC norme.

Ključne riječi: željeznica, šinska vozila, trošenje točkova, šine, ekonomičnost željeznice

IMPROVEMENT OF OPERATIONS AND SECURITY OF RAILROAD TRANSPORTATION OPTIMIZATION OF DYNAMIC RELATIONSHIP "WHEEL- RAIL " AS A WAY TO INCREASE ECONOMY

Abstract: In this paper we present a view that, especially in a state of reduced transport, increase of cost-effectiveness of labor, driving comfort and safety in this branch of transportation, can be achieved through optimization of the dynamic relationship in the points of contact "wheel-rail". For the successful implementation of the project on the topic concerned, it is necessary that multidisciplinary, competent project leader be involved, in order to avoid professional approach to the problem, because it does not lead to a solution that causes rapid wear of wheels and rails, that is, the disruption of the quality of the vehicle and the track in relation to the applicable EN/UIC standards.

Keywords: railway, rail vehicles, wheels wear, rails, railway cost-effectiveness



1. UVOD

Temeljni problem bezbjednosnih, komfora vožnje i ekonomskih problema kod svih željeznica na svijetu, svode se na problem kvaliteta odnosa točkova vozila i šina kolosijeka. To saznanje je starije od 120 godina i ne samo da nije optimalno riješeno, već se sve više komplikuje, čemu doprinosi brži razvoj tehničkih rješenja vozni sredstava i tehnologije građenja i održavanja kolosijeka nego što nauka i struka provodi istraživanja odnosa točak-šina, u praksi. Problem je teorijski složen, čak i kod željeznica velikih država: Njemačke, Francuske, V. Britanije, USA, Rusije (i dok je postojao SSSR!) i dugih, nije kvalitetno objašnjen u cjelini, niti za velike brzine, a za konvencionalne brzine (do 160 km/h) – naročito. Dublja naučna analiza uzroka ovog stanja, posebno kod manjih i siromašnijih željeznica, ukazuje da nepoznavanje pravog uzroka štetnog narušavanja dinamičkog odnosa u lancu: vozila (voz)-kolosijek-komforna i bezbjedna brzina voza- ekološka zaštita ambijenta gdje prolazi voz, uzrokovano multidisciplinarnošću ovog odnosa, a koji se duže od vijeka tretira strukovno, po mašincima, građevincima i inženjerima saobraćajne struke. Odnosno, zahtijeva profil stručnjaka koji – na zavidnom nivou – poznaje cio sistem i uticajne podsisteme željeznice: infrastrukturu i vozna sredstva te upravljanje i održavanje istih. Zbog rečenog, može se reći da je po odnosu točak-šina, decenijama „status quo“ kod velikih željeznica, a kod manjih željeznica – kakve su sve željeznice na Balkanu – to stanje nazaduje, posebno od prije pola vijeka. Da bi se shvatio navedeni problem postoji više pravaca, a u ovom radu se analiziraju problemi ubrzanog trošenja točkova šinskih vozila, kao materijalni refleks tog stanja i – multidisciplinarno – se traži pravac i metod sanacije lošeg stanja u ovoj oblasti i mogućnost bitnog uticaja na poboljšanje ekonomičnosti rada željeznice, na ovim prostorima i šire, pri čemu se preferira veća primjena specifičnih znanja, bez ulaganja enormnih sredstava. Pri tome se problemu prilazi teorijskom analizom uzroka povećanja potrošnje točkova i šina i indirektnim pojavama narušenog odnosa u tačkama dodira „točak-šina“, utvrđujući pravce sanacije problema povećanog habanja bitnih podsistema vozila i kolosijeka.

2. POTROŠNJA TOČKOVA I ŠINA NA PROSTORIMA BIVŠEG JŽ-a; OBLIK PROFILA TOČKOVA

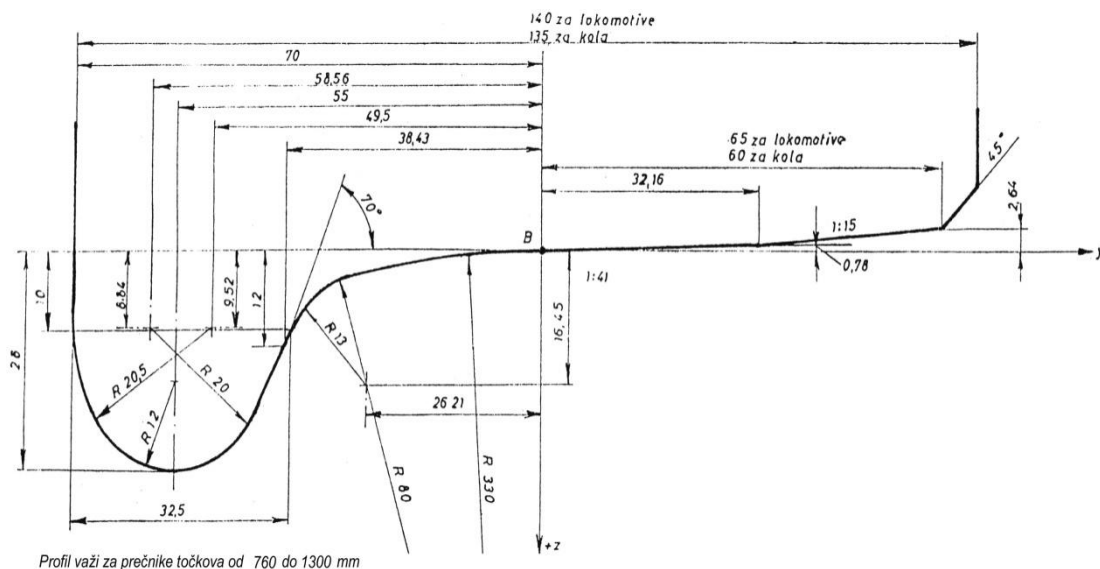
Tokom eksploatacije, zbog triboloških uslova u tački dodira točak-šina, haba se i oštećuje, brže ili sporije, propisani oblik profila gazeće površine točkova sa bandažima ili monoblok točkovima (MBT) (slika 1).

Vučna vozila i kola u vozu, kao i voz u cjelini, kreću se vijugavo, pomjeranjem i zakretanjem oko sve tri ose Dekartovog sistema, duž pruge, iz brojnih razloga: zbog različitih prečnika točkova na osovinama i pod vozilima u cjelini, različitih osovinskih i točkovnih opterećenja, grešaka u vučnoj i odbojnoj opremi, uticaja kočenja, promjene režima vuče, brojnih grešaka na kolosjeku, i dr. To vodi do češćeg i jačeg vertikalnog (manje opasnog) i bočnog (važnijeg) udara vijenca točkova o bokove šina.

Sile udara, iz ovog dinamičkog odnosa, izazivaju sile trenja između točkova i šina; sile trenja, zavisno od njihovog intenziteta, vode do bržeg ili sporijeg habanja gazeće površine ili vijenca točkova, čiji su najvažniji parametri dati na (slici 2)/ 1, 2, 3/. Profil gazeće površine točkova šinskih vozila veoma je sličan kod svih željeznica svijeta, a sve u cilju da se bočno i vertikalno pomjeranje točkova, pri kretanju uzduž pruge, u pravcu ili krivinama, što sporije

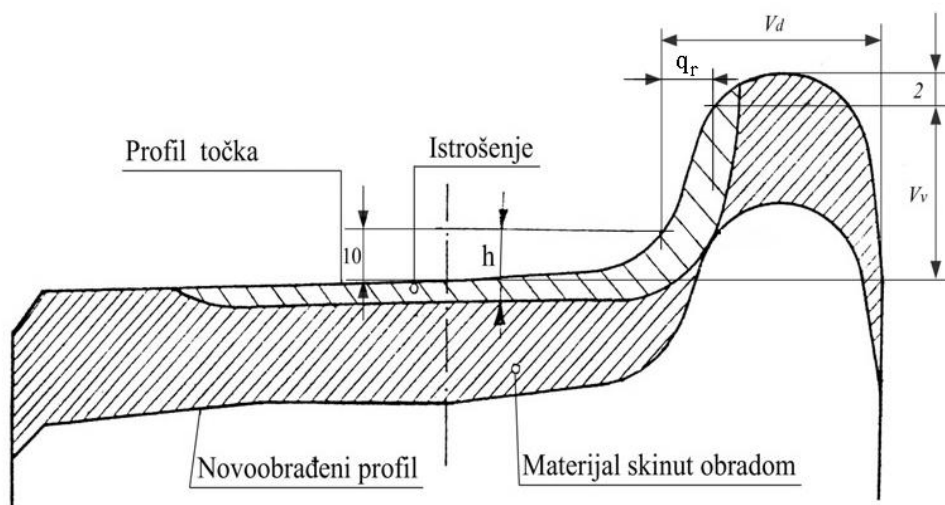
obavlja, pri čemu se realizuje što manje ubrzanje osovinaskh sklopova, a time se stvaraju manje sile udara vijenaca točkova o bok šina. Manje sile, opet, stvaraju veći komfor vožnje i bezbjednost od iskliznuća vozila iz šina, a –sinhrono- te sile stvaraju manji rad trenja i buku u ambijentu što vodi dužem trajanju točkova i šina, odnosno većoj ekonomičnosti poslovanja željeznice!

Navedeni su aspekti uticaja vozila, ali tu važnu ulogu ima i geometrija kolosijeka, kako je to detaljno opisano u literaturi/1,...,10/. Tu se vidi da velika većina pisaca knjiga i radova, na ovim prostorima i u svijetu, ne posmatra realno stanje u praksi odnosa točak-šina, već problem posmatraju sa punim povjerenjima o stanju kolosijeka-prema propisima građevinske djelatnosti:UIC, EN, ranije JŽ, što je pogrešno, i što se-naročito – dokazuje u Studiji /4/, kojom se ubjedljivo negiraju stavovi JŽ istraživača iz Studije /7/.



Slika 1. Profil točka vozila, prema normi UIC 510-2

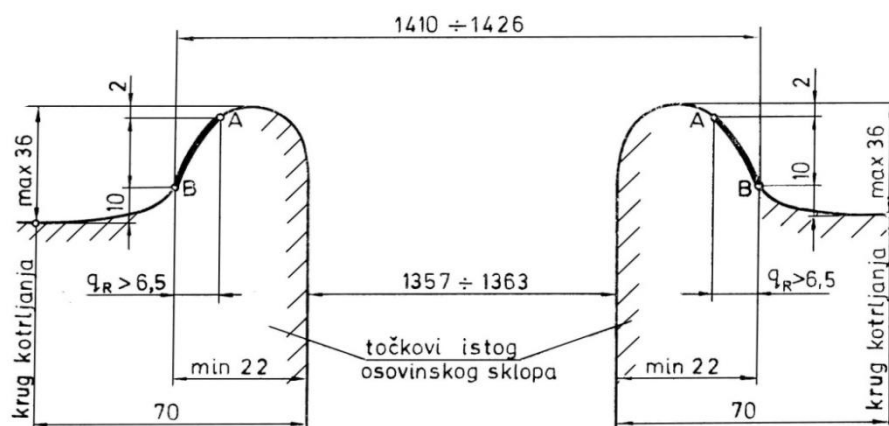
Točkovima se, od strane kolskih i lokomotivskih preglednih organa, između ostalog, provjerava debljina vijenca (V_d), dubina ojedenosti kruga kotrljanja točka (h), mjera (q_r) i visina vijenca (V_v) (sl.2).



Slika 2. Habanje i gubitak materijala oboda točka

Kada se, prema UIC i neke njegove članice, normama, utvrdi da je (q_r) mjera veća ili manja od granične, ili gazeća površina oštećena, ojedena; ili da točak izaziva veliku buku, kola se isključuju iz saobraćaja, radi obrade jednog točka, ili oba točka na osovini, četiri (ili 6) točkova na postolju, kao i osam ili 12 točkova pod vozilom, na obavezan profil i tolerantne razlike u prečnicima (vidi: Uputstvo 250 ŽS BiH;JŽ i respektivne norme EN).

Na slici 3. date su propisane mjere i granična stanja vijenaca bandaza, na prostoru bivšeg JŽ-a i UIC (danas u EU-norme EN).



Slika 3. Propisane mjere i granična stanja vijenaca bandaza

U proteklih 40 godina, na prostorima bivšeg JŽ-a, desile su se nelogične pojave: vozila su se – navodno- održavala i koristila u regularnom stanju, po propisima JŽ-a i UIC-a, a točkovi i šine su se sve brže trošili, odnosno imali sve kraći radni vijek / 10 /. O tome postoje razni podaci, često bez ikakvih dokaza. Problem ocjene tog stanja ogleda se u tome što je, sa opadanjem privredne važnosti željeznice jer se primat davao razvoju industrije na ovim



prostorima, ubrzano zanemarivana obaveza praćenja niza statističkih podataka, posebno o trošenju bandža do 1973. godine, monoblok točkova do 1992. godine, a zatim, uglavnom, bandža, sve do danas. Opstanak željeznice viđen je u obezbeđenju sve više sredstava od države, a ne u sanaciji stanja, primjenom većeg znanja i umanjnjem troškova.

Na željeznici su, tradicionalno, stručna usmjerenja kadrova iz oblasti mašinstva u pravcu bavljenja vučnim vozilima, a ne vučenim vozilima, odnosno vagonima (kolima). Tako je u istraživanjima trošenja točkova i bandža u Projektu / 7 / za NID JŽ-a obuhvaćeno oko 90% podataka o trošenju ovih kod lokomotiva i motornih vozova, a eksploatacioni podaci koji su korišteni u tom projektu –dokazano su netačni pa i zaključci neupotrebljivi.

Kada se, prethodno rečenom, doda da za vučna vozila i četvoroosovinska kola (pa i dvoosovinska) P i T, do danas nema tehnologije održavanja ogibljenja i nakon 50 godina upotrebe, jasan je uzrok pada kvaliteta odnosa točak - šina, i povećanja potrošnje točkova, što uzrokuje ubrzano razaranje geometrije i kvaliteta kolosijeka. Ovaj problem čini složenijim činjenica da na prostorima bivšeg JŽ-a i Balkana, već duže vrijeme, nema validne tehnologije tekućeg i investicionog održavanja kolosijeka, što značajano narušava dinamički odnos točak-šina.

Istraživanja problema odnosa točak-šina na prostorima bivšeg JŽ-a

Željeznice na prostoru bivšeg JŽa razvile su brojne kapacitete za održavanje i izradu šinskih vozila. Dok je ovaj vid prevoza bio dominantan, u njega se ulagalo, a zbog prevoza velikog broja putnika, sa stavom da "čovjek nema cijenu", inspekcijski nadzor je prisiljavao Željeznicu da veoma kvalitetno održava kolosijeke i, tada znatno prostija i jeftinija, šinska vozila.

Razvojem samoupravnih odnosa, svaki ŽTP u bivšim republikama upravljao je održavanjem svojih kapaciteta, a razvojem drumskog saobraćaja, od 1968. do 1974. godine, željeznica gubi primat u društvu. Taj trend je zadržan i do danas, na ovim prostorima.

Zanemarivanje razvoja i opremljenosti remontnih kapaciteta dovodi do povećane potrošnje točkova i šina na JŽ. Paralelno, skoro u potpunosti se zanemaruju JUS norme za željeznicu, a JŽS – potpuno. Ovaj trend uočen je i priznat 1975. godine, kada su stručnjaci za kolosijek i pruge utvrdili da je loše stanje kolosijeka (navodno) dobro i u granicama prihvatljivog, čime je izbjegnuta obaveza ulaganja u potrebno održavanje koloseka (vidjeti Odluku 981/75, maj 1975. ZJŽ).

Posljedica ovog –prethodno rečenog- odnosa ogleda se u tome da je, sredinom sedamdesetih godina XX vijeka, JŽ dovedena u stanje u kome je bilo sve više „laganih vožnji „ na prugama, porasla je imobilizacija vozila, a u praksi je bilo sve više udesa za koje se nije mogao naći uzrok, jer je - navodno - "sve bilo po propisima".



Drugi značajan rad iz ovog područja je rad u kome je učinjen značajan napor da se nađe optimalan profil točka za JŽ. Rad je usmjeren samo na vozila, a s obzirom na činjenicu da kolosijek može bitno da narušava kvalitetno obrađen profil točka, slijedi da nije dat potpun odgovor - kako bi se produžio vijek trajanja točkova i šina / 8 /.

Ostali, domaći, radovi, koji se dotiču odnosa točak - šina na ovim prostorima, bavili su se utvrđivanjem uzroka brojnih iskliznuća vozova kada su vozila, voz, kolosek i brzina voza bili regularni po JŽ normama/ 10,...,25 /.

Teorijska i eksperimentalna ispitivanja Švajcarskih železnica (SBB), da je koeficijent trenja pri kretanju točkova nekog vozila, obrtnog postolja vozila, upravno na šinu (bočno na pravac kretanja), zavisao od:

- rastojanja (p) težišta prve osovine u postolju od trenutnog pola rotacije postolja;
- poluprečnika krivine (R) kolosijeka, gdje osovina prolazi, te
- od ugla naleta (α) prvog točka kojim, u pravcu vožnje vozila, osovina nalijeće na uzdužnu osu šine.

Slijede neki važni stavovi iz Studije /7/, koji su navedeni, ali stručno neobjašnjeni i ako su za nauku i željezničku praksu veoma važni.

a) Ugao naleta točka na šinu

Kao veličina zavisna od razmaka (h) osovine u obrtnom postolju višeosovinskih voznih sredstava, ili osovine dvoosovinskih vozila, te poluprečnika krivine (R) kroz koju vozilo prolazi, ugao naleta α točka na bok šine definisan je preko izraza:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha = h/2R.$$

(1)

Ovaj ugao je veoma zavisao od kvaliteta geometrije kolosijeka-posebno proširenja, i od poluprečnika krivine R ; kako –slijedi u ad.c) ove podtačke.

b) Uticaj kvaliteta ogibljenja na upisivanje vozila u krivinu

Ovaj aspekt pomenut je u radu / 18 /. Navodi se da, duž ose osovine, primarna i sekundarna ogibljenja, i bilo kakvo ogibljenje vozila, treba da budu što mekša, kako bi sigurnost kretanja vozila bila što bolja, a bočna sila upisivanja (Y) i habanje venca bili što manji. Ovi stavovi su ispravni, jer tačno navode svjetska dostignuća. Međutim, ni za jedno JŽ vozilo nije data kvantifikacija veličine neovještane mase (m_n), niti bočne krutosti (c_b) kolosijeka u zoni gdje se osjeća dejstvo sile Z tokom vremena; to se ne traži ni u prototipu, kao ni u održavanju na JŽ, a bitni su za ogibljenje lok. ser. 441 i 461 ŽS. Samim tim, navedeni stavovi u praksi nemaju efekta. Naime, loše održavanje bočne krutosti i neovještane mase vozila neodržavanjem ogibljenja-opruga i amortizera, već koje je rješenje pod vozilom, vodi , kako je izrazom (2) definisano, povećanju sile $Y(t)$.



c) Uticaj proširenja kolosijeka na ugao naleta

Teorijski dijagram zavisnosti ugla naleta (α) točka četvorosovinske elektrolokomotive Re 4/4 SBB od poluprečnika krivine (R), kroz koju vozilo prolazi i od proširenja kolosijeka (δ) u odnosu na nominalnu mjeru širine kolosijeka kod članica UIC pa i bivšeg JŽ-a, $2S = 1435 \text{ mm}$, kada je $\delta = 0$. Dakle, pokazuje se da je $\alpha = f(R, \delta)$, kako se vidi sa slike 4, samo za određenu lokomotivu. Međutim, sličan dijagram važi za sve tipove vozila te povećana zakretljivost osovinskog sklopa oko vertikalne ose upravne na kolosijek, još više pogoršava stanje - povećava ugao naleta (α). Ovdje se uočava da mašinski inženjeri nedovoljno poznaju osobine koloseka te nisu u stanju-bar na prostorima Balkana- da brane poziciju vozila u praksi kako bi pomogli i željeznici kod koje su zaposleni. Naime, u nizu radova obrađenih posljednjih 35 godina (u Sarajevu i Beogradu), kao i u nizu nastupa na međunarodnim skupovima, autori sa ovog područja rasvijetlili su ovaj problem / 4, 7, 12 /. Bočna sila (Y), kojom točak djeluje u nekoj krivini određenog proširenja i radijusa krivine, krećući se brzinom (v), po kolosijeku bočne krutosti (c_b) u zoni dodira točka i šine, neovještane mase (m_n) osovine i dijela kolosijeka koji ova pomjera bočno, definisana je izrazom :

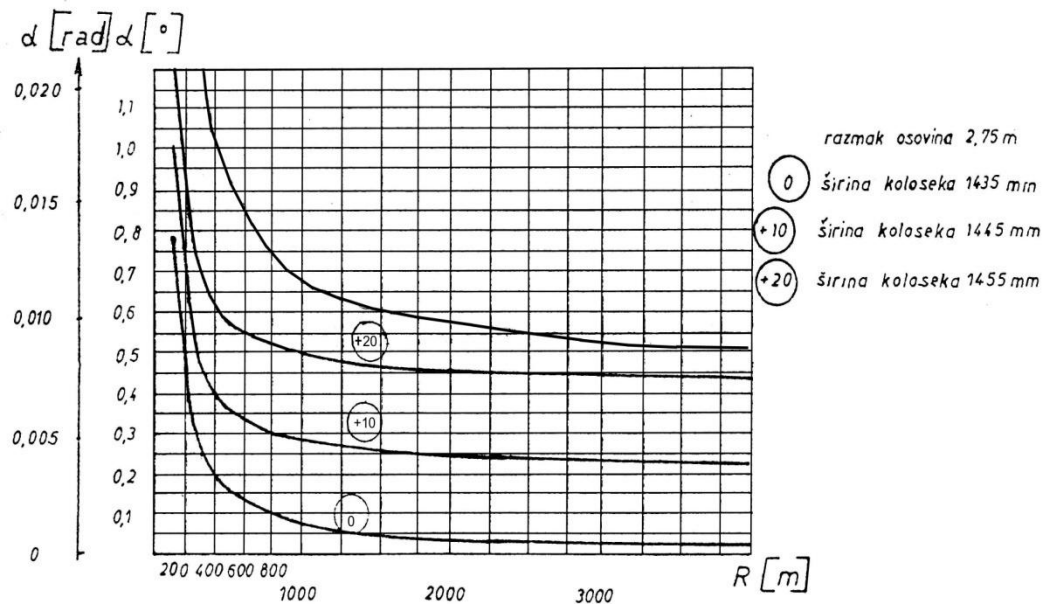
$$Y = \alpha \cdot v \cdot \sqrt{m_n \cdot c_b}$$

(2)

gdje je: $v \text{ (km/h)}$ - brzina kojom se vozilo kreće.

Ako se pogledaju dijagrami na slici 4., vidi se da je za evropske, a do 1970. godine i JŽ standarde, uobičajeno proširenje $\delta = +5 \text{ mm}$, $R = 250 \text{ m}$, $\alpha = 0,4^\circ$, odnosno $\alpha = 7 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$.

Za neko proširenje $\delta = +25 \text{ mm}$, veoma često i tolerantno na JŽ, biva $\alpha = 1,3^\circ$, odnosno $\alpha' = \alpha_{\max} = 3,26 \alpha_{\text{nor}}$. α_{nor} znači: (α) normalno na prugama UIC. "Zapuštanjem" u održavanju ovješanja vozila povećava se neovješana masa (m_n), sjedinjuje se (m_n) preko zamorenih amortizera i zamorenih opruga, sa dijelom rama obrtnog postolja (kod vučenih vozila), ali i masom vučnih motora (kod vučnih vozila).



Slika 4. Zavisnost ugla α od radijusa krivine R i od proširenja kolosjeka δ

Veličina m_n nije istražena, jer se kvalitetno odražavanje u svijetu samo po sebi podrazumijeva, ali se može pretpostaviti mogućnost da je $m_{max} \approx 2,5 m_n$, $a = \sqrt{2,5 m_n} = 1,58 \sqrt{m_n} \approx 1,60 \sqrt{m_n}$, što znači da ta veličina povećava silu (Y) i do 60%. Konačno, poseban problem čini (c_b) [kN/cm], tj. bočna krutost koloseka i točka zajedno. Nije poznato da se ova veličina ikada mjerila na ovim prostorima, čak i u vrijeme kada se, do 1970. godine, kolosijek na JŽ održavao u skladu sa UIC propisima, odnosno - kada je uvedena mehanizacija za održavanje kolosijeka. Uticaj održavanja kolosijeka na (c_b) tek treba ispitati, ali je očigledno da sa velikim uglom naleta točak ne pomjera šine bočno levo-desno, i duž koloseka, naročito između dva talasa. Taj negativni uticaj velikog ugla naleta α , povećane m_n i c_b , ubrzano oštećuje kolosjek u cjelini, vodi brzom habanju bokova šina i vijenaca točkova, jer je bočna sila Y :

$$Y = \alpha_{nor} \cdot v \cdot \sqrt{m_{nor} \cdot c_{b,nor}} \quad (3)$$

Slijedi da je na ovim i sličnim prostorima - po nepoštovanju normi UIC-a za održavanje vozila i kolosijeka - mogući porast bočne sile udara točka o šinu do:

$$Y_{max} = 3,26 \alpha_{nor} \cdot v \cdot 1,6 \cdot 1,41 \sqrt{m_{nor} \cdot c_{b,nor}} \approx 7,35 Y_{nor}$$

usljed lošeg oblika izvedene krivine kolosjeka, velikog proširenja, loše vitopernosti i stabilnosti istog, kao i lošeg održavanja ogibljenja vozila.

Poslednje, objašnjava otkud pojava veoma velikih sila (Y) i trošenja točkova šinskih vozila, čak 10 do 15 puta većih nego nekada na ovim prostorima. Istovremeno, ovdje je i odgovor na pitanje: zbog čega se planirani razmak između dva remonta pruge, tokom zadnjih decenija i



preko dva puta skraćuje, što vlasnik infrastrukture ne može pratiti finansijski; a stanje se pogoršava.

3. ZAKLJUČCI

- a) U radu je prikazana teorijska i eksploatacijska složenost statičkog i dinamičkog odnosa u tački dodira točak – šina te stanje u domaćoj, regionalnoj i svjetskoj nauci po ovom pitanju.
- b) Jasno je vidljivo da se i u svjetskim okvirima odnos točak-šina posmatra strukovno, posebno za točkove, a posebno za šine. To se može-i treba- tumačiti time da je veoma obimno za bilo kog stručnjaka-individualca veoma teško, jer iziskuje velike radne i intelektualne napore, da ovlada sistemom: Vozila(voz)-kolosijek-geometrija kolosijeka-komfor vožnje-bezbjednost u kretanju vozova- optimizacija materijala točkova i elemenata kolosijeka-ekonomičnost rada željeznice-buka-vibracije-ekologija.

LITERATURA

1. Jovanović, R.: Osovinski sklopovi železničkih vozila, CIP – YUGO DANONE, Beograd, 1996.
2. Jovanović, R.: Dinamika šinskih vozila (skripta predavanja), Saobraćajni fakultet, Sarajevo, 1986.
3. Veršinski, S.V. i dr.: Dinamika vagona, Transport, Moskva, 1972.
4. Jovanović, R. i sar.: Uzroci ubrzanog trošenja točkova šinskih vozila JP Železnica Srbije i mogućnosti poboljšanja stanja (Studija), SI CIP, Beograd, 2008.
5. Jovanović, R. i sar.: Mogućnosti minimiziranja šteta od težih udesa na željeznici, SIZ Nauke BiH i ŽTP Sarajevo, Sarajevo 1989/90.
6. Jovanović, R. i sar.: Mogućnosti umanjavanja šteta od težih udesa uzrokovanih dinamikom kretanja vozova na području ŽTP "Beograd", SI CIP, Beograd, 1994/96. SIZ Nauke BiH i ŽTP Sarajevo, Sarajevo 1989/90.
7. Jovanović, R., Vasiljević, M.,: "Ispitivanje pruga i vozila", Saobraćajni fakultet Doboj, 2009.
8. SI CIP, IKS, Beograd, "R. Končar" Zagreb: Stanje odnosa točak - šina na JŽ, s predlozima rešenja, Beograd, 1981/83 8) (studija).
9. Simić, G.: Istraživanje realne geometrije dodira točak-šina i njenog uticaja na kretanje šinskih vozila i habanje sistema točak - šina (doktorska disertacija), Mašinski fakultet, Beograd, 1997.
10. Jovanović, R.: "Ekspertize o težim udesima vozova, u Bosni i Hercegovini i Srbiji, od 1974 do 2005. godine i gdje su karakteristični udesi u uslovima, po JŽ-sve ispravno"
11. Jovanović, R. i sar.: Uzroci prevremenog otkaza opruga - prigušivača oscilacija - na bazi gume, kod el.lok. serija 441 i 461, i pravci sanacije, SI CIP, Beograd 2001/2003.
12. SI CIP: Stanje uređaja i sklopova na četvoosovinskim kolima JŽTP "Beograd" za unutrašnji saobraćaj; predlog mera za sanaciju, Beograd, 2002.
13. Prodanović, R.: Istraživanje fenomena trošenja točkova teretnih kola (vagona) i razvoj tehnologija za regeneraciju njihove radne ispravnosti; magistarski rad, MŠinski fakultet, Niš, 2005.
14. Utvrđivanje dinamičkih osobina Fad kola "ŽŽ" Zenica sa postoljem Y25G, na realnim prugama JŽ, Institut "Kirilo Savić" Beograd, 1976.



15. Mandić, D.: Određivanje faktora koji narušavaju regularno kretanje teretnih vozova (magistarski rad), Saobraćajni fakultet, Beograd, 1992.
16. Mandić, D. i Jovanović, R.: (Ne)regularni odnos vozilo(voz)-kolosek i uticaj na iskliznuće vozova na JŽ, Železnice, br 4, Beograd, 1992.
17. Jovanović, R. i Radosavljević, A.: Beating Loading in Power Transmission at Electric Locomotives; Resonance and Potential Effects, Svetski kongres "Odnosa točak-šina", Štuttgart, 1999.
18. Jovanović, R. i Radosavljević, A.: Influence of High Wheel Slipping on the Life Time of Rubber - Metal Elements and Wheel Sets on Electric Locomotives, IHHA, Svetski simpozijum "Točak-šina", Moskva 1999.
19. Jovanović, R., Lučanin, V. i Radosavljević, A.: POSSIBLE REDUCTION OF WHEEL FLANGE WEAR BY IMPROVING THE LOCOMOTIVE DYNAMIC MOVEMENT, Simpozijum: THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS, Struga, Makedonija, 1998.
20. Verigo, M.F.: Vzaimodejstvije puti i podvižnago sostava v krivih malago radiusa i borba s bokovim iznosom reljsov i grebene v koljos, Bilten OSŽD, br. 4, Varšava, 1998.
21. Jovanović, R.: Naponsko stanje lokomotivskih vratila u eksploatacionim uslovima (doktorska disertacija), Mašinski fakultet, Beograd, 1978.
22. Ranković, S. i Tomić-Torlaković, M.: Gornji stroj željeznica, Beograd, 1996.
23. Tomić-Torlaković, M.: Održavanje železničkih pruga, (udžbenik), Građevinski fakultet, Beograd, 1998.
24. Jovanović, R. i dr.: POSSIBLE REDUCTION OF WHEEL FLANGE WEAR AND OCCURRENCE OF CRACKS ON THE AXLEDRIVES BY IMPROVING ELECTRO LOCOMOTIVE DYNAMIC MOVEMENT, Svetski simpozijum VSDIA, Budimpešta, 1998
25. Blohin, E.P., i dr. : Influence of the Design and State of Wagon's Running Gear and Tracs on the Wear of Wheels and Rails, Svetski simpozijum IHHA, Moskva 1999.