

ORIGINALNI NAUČNI RAD

LUKA LAZAREVIĆ*, ZDENKA POPOVIĆ

PREPORUKE ZA PROJEKTOVANJE PUTNIH PRELAZA U NIVOU KOJI SE NALAZE U KRIVINAMA KOLOSEKA

DESIGN RECOMMENDATIONS FOR LEVEL CROSSINGS LOCATED ON TRACK CURVES

UDK: 625+625.1/.5+656.2

REZIME:

Putni prelazi u nivou i dalje predstavljaju kritičan bezbednosni rizik, naročito u uslovima rekonstrukcije železničke mreže za veće brzine i povećan obim saobraćaja. Iako se ulažu značajni naponi da se smanji njihov broj, mnogi od njih će ostati u funkciji zbog različitih lokalnih ograničenja. Sa porastom brzina saobraćaja, rizici povezani sa putnim prelazima u nivou postaju ozbiljniji, što zahteva primenu strožih bezbednosnih standarda i unapređenje projektantske prakse. Ovaj rad predstavlja osnovne principe za projektovanje putnih prelaza u nivou. Iako se preporučuje da se putni prelazi u nivou postave na pravcu, ponekad nije moguće izbeći njihovo postavljanje u krivini, čak ni u slučaju krivina sa velikim nadvišenjem i malim radijusom. Autori skreću posebnu pažnju na ovu vrstu prelaza u nivou, a posebno na one koji se nalaze na dvokolosečnim železničkim prugama zbog složene geometrije prelaza. Pored toga, autori preporučuju odgovarajuće mere za unapređenje rešenja nivelete puta, uz očuvanje bezbednosti i efikasnosti železničkog saobraćaja. Primena takvih rešenja može značajno poboljšati bezbednost i funkcionalnost prelaza u nivou u uslovima zahtevne geometrije trase pruge.

Ključne reči: železnica, Infrastruktura, putni prelaz u nivou, krivina, projektovanje, bezbednost.

SUMMARY:

Level crossings remain a critical safety concern, especially as railway networks are upgraded for higher speeds and increased traffic volumes. Although significant efforts are made to reduce the number of level crossings, many of them will remain in operation due to different local constraints. With the rise in operational speeds, the risks associated with level crossings become more severe, requiring the application of stricter safety standards and improved design practices. This paper presents the main principles for the design of level crossings. Although it is recommended for level crossings to be located in straight track, sometimes it is not possible to avoid locating them in curved track, even in the case of curves with high cant and narrow radius. Authors draw special attention to this type of level crossings, especially those located on double track railway lines due to their complex geometry. Additionally, authors recommend appropriate measures to improve road alignment while maintaining rail safety and operational efficiency. Implementing such solutions can significantly enhance the overall safety and functionality of level crossings in challenging track geometry.

Keywords: Railway, Infrastructure, Level Crossing, Curve, Design, Safety.

* Dr Luka Lazarević, Univerzitet u Beogradu - Građevinski facultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73, llazarevic@grf.bg.ac.rs,

1. UVOD

Putni prelazi u nivou (skr. prelazi u nivou) predstavljaju stalni bezbednosni rizik i za drumski i za železnički transportni sistem širom sveta. Kako se postojeća železnička mreža rekonstruiše da bi se prilagodila većim brzinama i povećanom obimu saobraćaja, rizici povezani sa prelazima u nivou, posebno u slučaju složene geometrije koloseka, postaju sve izraženiji.

Primetno je da su nesreće na prelazima u nivou drugi najčešći tip železničkih nesreća u EU, sa 224 smrtna slučaja i 186 teških povreda zabeleženih u 2023. godini [1].

Da bi se rešili ovi bezbednosni izazovi, Međunarodna železnička unija (UIC) razvila je niz tehničkih uputstava sa smernicama za planiranje infrastrukture i merama bezbednosniti u praksi. UIC objava 762 [2] služi kao ključna referenca za projektovanje i upravljanje prelazima u nivou na železničkim prugama sa brzinama vozova od 120 km/h do 200 km/h. Objavljena kao dodatak UIC objavi 761 [3], koja opisuje opšte principe za automatske sisteme za prelaze u nivou, UIC objava 762 [2] pruža ciljane preporuke za rešavanje jedinstvenih rizika vezanih za brzi železnički saobraćaj. To uključuje poboljšane sisteme upozorenja (kao što je objašnjeno u [4]), optimizovana rešenja branika i poboljšanu integraciju sa centralizovanom kontrolom vozova. Objava ističe potrebu za svođenjem broja prelaza u nivou na minimum i, tamo gde su i dalje neophodni, primenu strogih bezbednosnih standarda kako bi se postigla pouzdana zaštita i za drumski i za železnički saobraćaj [5].

Uprkos ovim smernicama, postoji značajan nedostatak u rešavanju problema prelaza u nivou koji se nalaze u krivinama koloseka, posebno onih sa velikom vrednostima nadvišenja i malim radijusima. Ovakvi prelazi u nivou predstavljaju značajne

izazove zbog svoje složene geometrije i smanjene vidljivosti, a važeći standardi pružaju ograničene praktične smernice za takve scenarije.

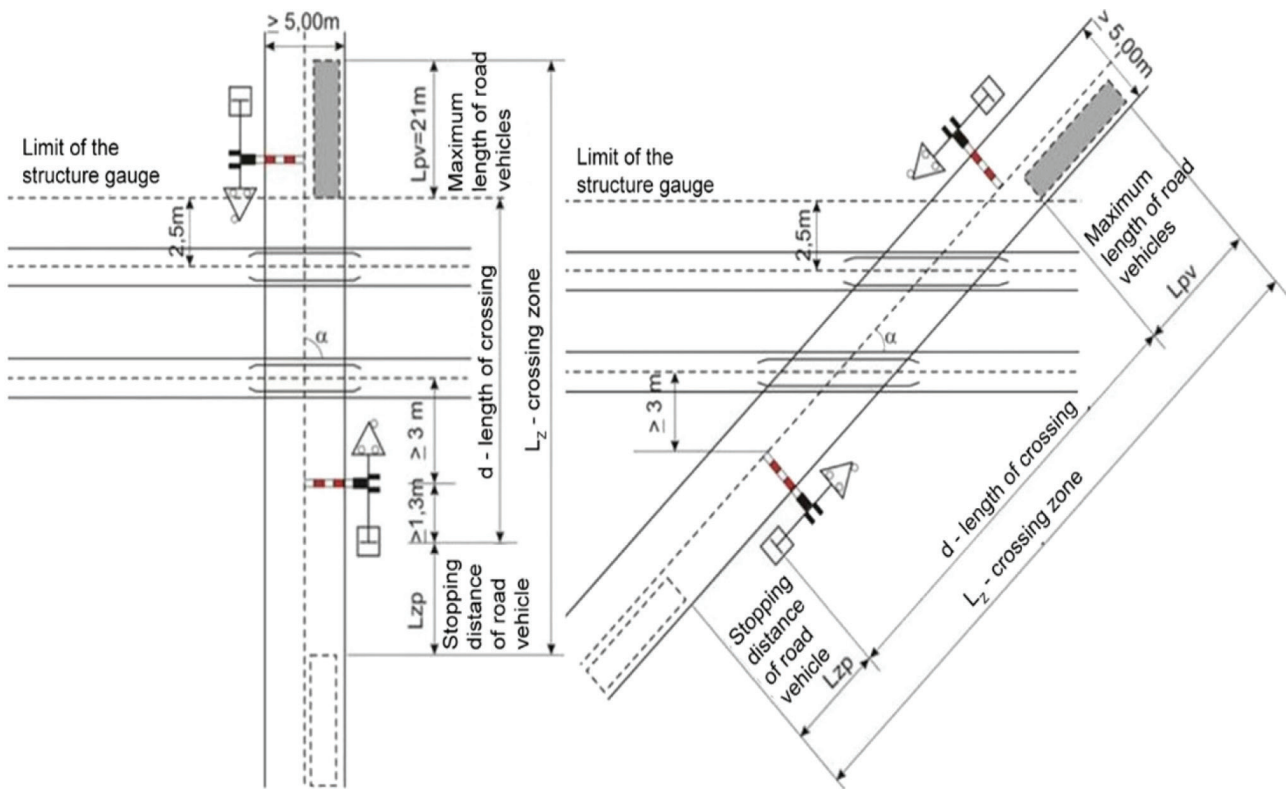
Ovaj rad ima za cilj da premosti tu prazninu predstavljanjem inženjerskih rešenja i bezbednosnih mera posebno prilagođenih prelazima u nivou na deonicama u krivinama. Rad ukratko opisuje osnovne principe projektovanja prelaza u nivou, a zatim se primarno bavi prelazima u nivou koji se nalaze u krivinama, analizirajući njihove specifične rizike i ograničenja u procesu projektovanja. Štaviše, predstavljena su inženjerska rešenja koja bi se mogla primeniti u takvim slučajevima. Na kraju, poslednji deo rada daje ključne zaključke i preporuke.

2. GLAVNI PRINCIPI ZA PROJEKTOVANJE PRELAZA U NIVOU

Idealan prelaz u nivou pretpostavlja da su i železnička pruga i put u pravcu, sa uglom ukrštanja od 90°. Pošto parametri projektovanja puta generalno imaju veću fleksibilnost, trasa železničke pruge treba da bude prioritet u procesu projektovanja kad god je to moguće. Nakon toga, trasa puta treba da se prilagodi kako bi se uskladila sa projektnim rešenjem pruge.

Kada je pruga u pravcu u zoni prelaza u nivou, njen podužni nagib treba da se poklapa sa poprečnim nagibom puta kako bi se obezbedio nesmetan i bezbedan saobraćaj.

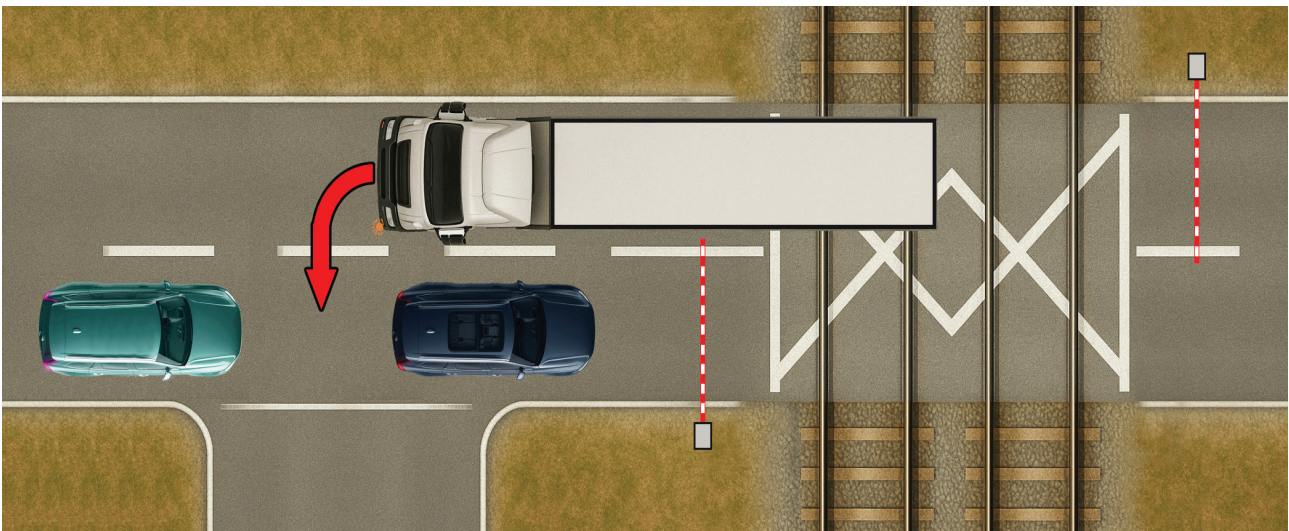
Prema [6,7], poželjno je da prelazi u nivou budu projektovani sa uglom ukrštanja od 90° ili manje, ali ne ispod 60° (Slika 1). Nasuprot tome, Priručnik [8] propisuje minimalni ugao ukrštanja od 70°. Pažljivo razmatranje ovih geometrijskih parametara neophodno je za održavanje bezbednosti saobraćaja i svođenje rizika od nezgoda na najmanju moguću meru.



Slika 1. Prelaz u nivou sa uglom ukrštanja: $\alpha = 90^\circ$ (levo) i $\alpha < 90^\circ$ (desno) [6,7].

Prisustvo putne krivine u zoni prelaza u nivou ugrožava raspoloživu vidljivost, potencijalno preusmeravajući fokus vozača na savladavanje krivine [9]. Pored toga, sve raskrsnice puteva u blizini prelaza u nivou treba da budu postavljene na do-

voljnoj udaljenosti da bi se smanjio rizik od sudara koji može da nastane usled toga što vozilo ne može da napusti kolosek pre prolaska voza (Slika 2). Ovo predstavlja problem koji se često zanemaruje pri projektovanju prelaza u nivou [10].



Slika 2. Potencijalni rizik da vozilo ne uspe da napusti kolosek na prelazu u nivou.

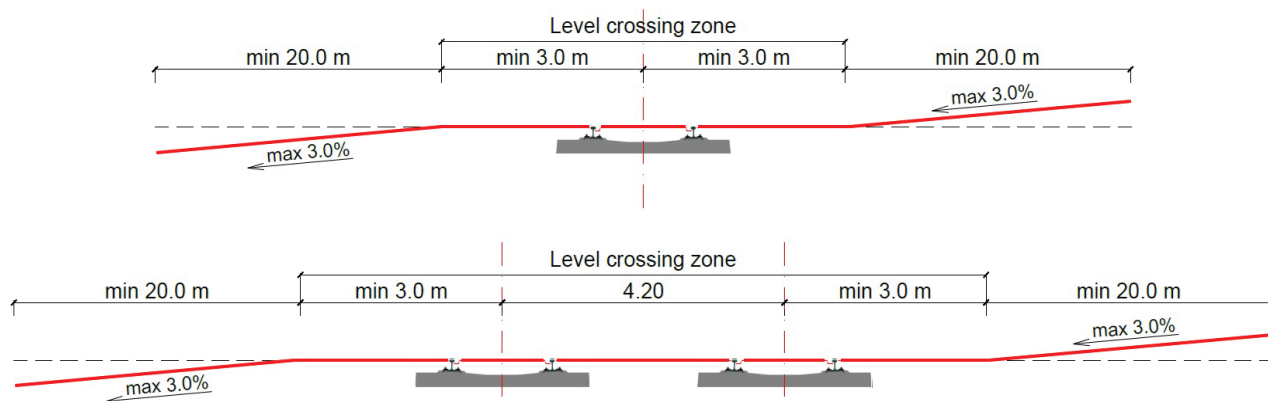
Preporuke za projektovanje putnih prelaza u nivou koji se nalaze u krivinama koloseka

Generalno, prelazi u nivou ne bi trebalo da se nalaze u krivinama na pruzi. Kod prelaza u nivou u krivini, drumska vozila koja se približavaju sa spoljašnje strane krivine imaju bolju vidljivosti u odnosu na ona koja se približavaju sa unutrašnje strane.

Kada izbegavanje prelaza u nivou na deonici pruge u krivini nije moguće, podužni nagib puta mora biti projektovan tako da odgovara poprečnom nagibu koloseka. Za železničke pruge sa više koloseka, preporučuje se primena horizontalne nivelete puta u zoni prelaza u nivou. Ukoliko nije moguće izbeći postavljanje prelaza u nivou u krivinu, po-

željno je da kolosek bude projektovan bez nadvišenja [11,12]. Međutim, postoje prelazi u nivou u krivinama malih radijusa na postojećim dvokolosečnim prugama, koji se ne mogu zameniti nadvožnjakom ili podvožnjakom u bliskoj budućnosti.

Niveleta puta na prelazu u nivou mora da se poklapa sa visinskom kotom površi kotrljanja koloseka na rastojanju od 3,0 m mereno od ose koloseka sa svake strane za jednokolosečne pruge, odnosno od ose najudaljenijeg koloseka za višekolosečne pruge [6,7]. Podužni nagib puta ne sme da bude veći od 3% na minimalnoj dužini od 20 m neposredno pre i posle prelaza u nivou (Slika 3).

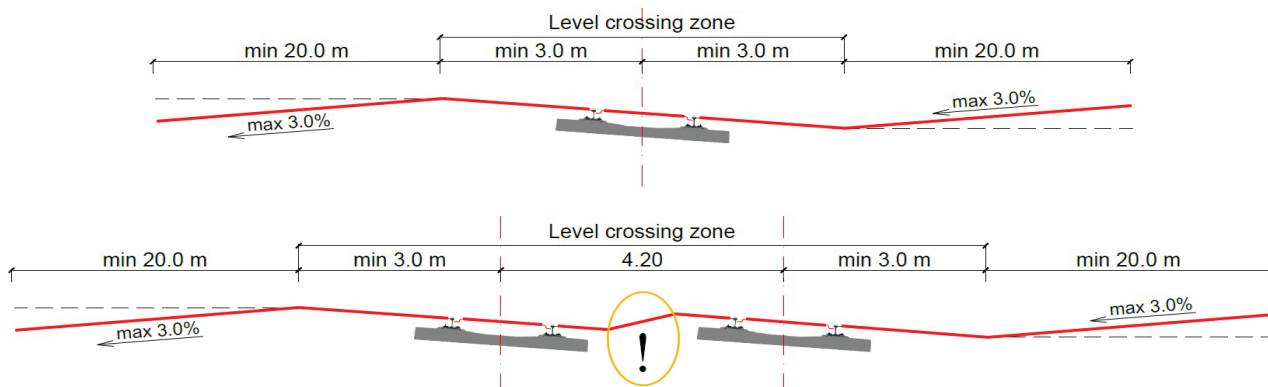


Slika 3. Podužni profil puta u zoni prelaza u nivou na jednokolosečnoj (gore) i dvokolosečnoj (dole) železničkoj pruzi.

Vertikalne krivine puta na oba prilaza putnom prelazu u nivou treba da ispunjavaju zahteve za drumsko vozilo sa najvećim međuosovinskim rastojanjem, kako bi se sprečilo zaglavljivanje vozila na prelazu i izbeglo oštećenje i kolovoza i vozila prilikom prelaska preko vertikalne krivine [11-13].

3. PRELAZ U NIVOU U KRIVINI KOLOSEKA

Na slici 4 prikazan je podužni profil puta u prelazu u nivou, u slučaju jednokolosečne i dvokolosečne železničke pruge u horizontalnoj krivini. Konkretno, na slici 4. (dole) prikazana je složena niveleta puta u slučaju dvokolosečne železničke pruge u horizontalnoj krivini.



Slika 4. Primeri podužnog profila puta na prelazu u nivou u krivini koloseka.

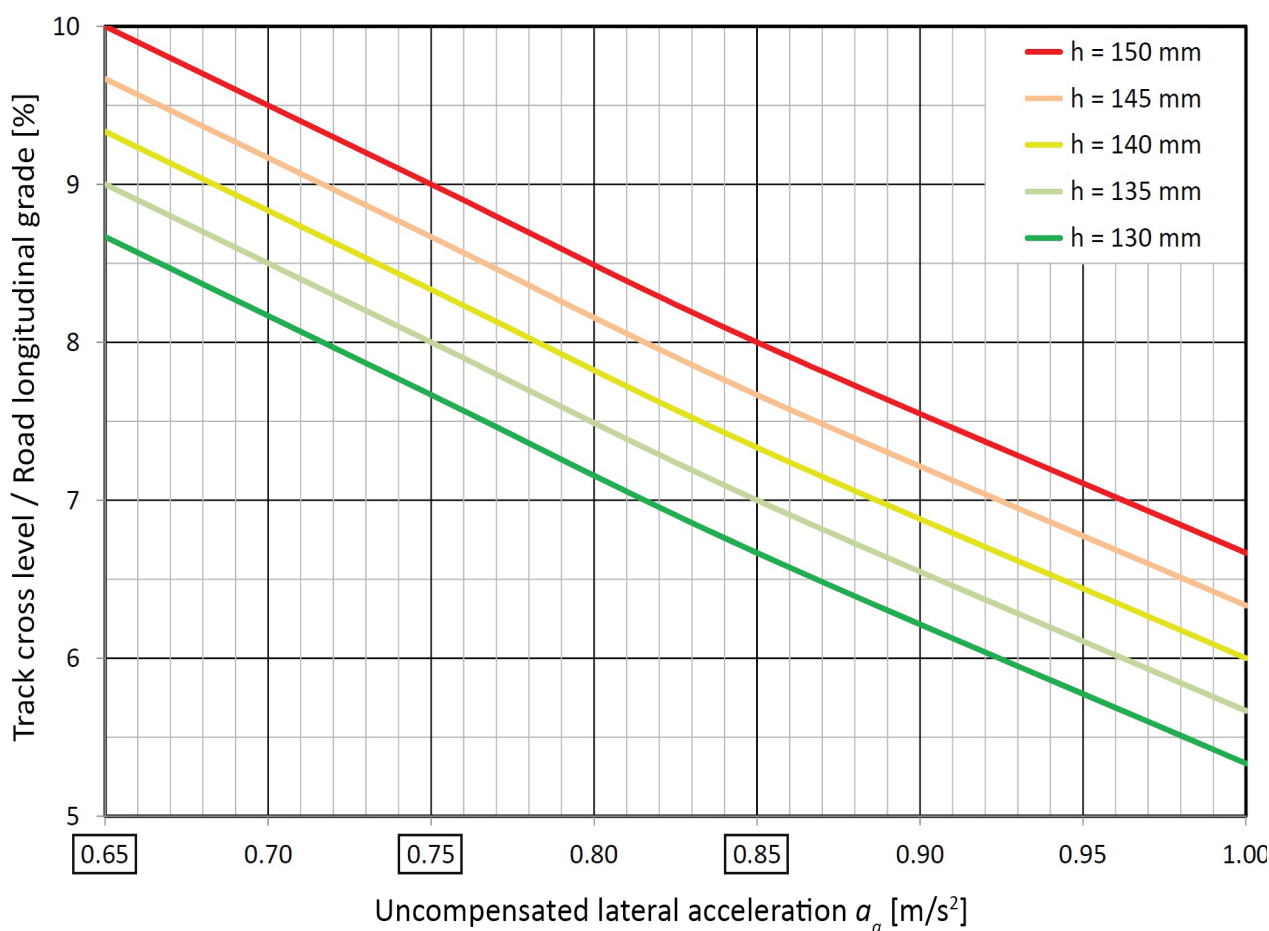
Minimalni poluprečnik krivine u blizini prelaza u nivou nije eksplicitno definisan tehničkim propisima. Ipak, određene preporuke mogu se izvesti na osnovu dozvoljenih vrednosti nadvišenja koloseka. Za krivine sa minimalnim poluprečnikom, gornja granica za nadvišenje je 150 mm, što odgovara maksimalnom poprečnom nagibu koloseka od približno 10 %, uzevši u obzir da standardna širina koloseka iznosi približno 1500 mm.

Strmi podužni nagibi nivelete puta na prelazima u nivou generalno se ne preporučuju iz sledećih razloga:

1. bezbednosni rizici: vozila mogu imati poteškoća sa zaustavljanjem ili pokretanjem na strmim usponima, posebno u vlažnim uslovima ili u prisustvu leda, čime se povećava verovatnoća sudara sa vozovima;
2. problemi sa kontrolom vozila: veća ili teža vozila, kao što su kamioni i autobusi, mogu se zaustaviti ili krenuti unazad pri pokušaju kretanja uzbrdo;

3. poremećaj toka saobraćaja: smanjene brzine prelaska na strmim prilazima mogu dovesti do zagušenja, produženja prisustva drumskog vozila unutar zone koloseka i povećanje rizika od incidenata.

Ako je potrebno da se prelaz u nivou postavi u krivini koloseka sa minimalnim radijusom zbog značajnih prostornih ograničenja, onda prvo treba analizirati mogućnost smanjenja vrednosti nagiba koloseka. Vrednost nagiba koloseka može se smanjiti, što podrazumeva povećanje manjka nadvišenja i, posledično, povećanje neponištenog bočnog ubrzanja za posmatranu krivinu koloseka. Nacionalni tehnički propisi [14] dozvoljavaju tri nivoa neponištenog bočnog ubrzanja: normalna (0,65 m/s²), minimalna (0,75 m/s²) i izuzetna (0,85 m/s²) vrednost. Shodno tome, na slici 5 prikazano je moguće smanjenje poprečnog nagiba koloseka u funkciji neponištenog bočnog ubrzanja.



Slika 5. Korelacija između neponištenog bočnog ubrzanja i poprečnog nagiba koloseka.

Prema slici 5, može se zaključiti da minimalna vrednost neponištenog bočnog ubrzanja odgovara smanjenju poprečnog nagiba koloseka za 1 % (smanjenje nadvišenja za 15 mm), dok izuzetna vrednost ubrzanja odgovara smanjenju poprečnog nagiba koloseka za 2 % (smanjenje nadvišenja za 30 mm). Stoga, za krivinu minimalnog radijusa sa nadvišenjem od 150 mm, bilo bi moguće smanjiti poprečni nagib koloseka sa 10 % na 8 %, tj. smanjiti nadvišenje na 120 mm. Uzimajući u obzir maksimalnu vrednost manjka nadvišenja propisanu u [15], nadvišenje koloseka bi se moglo smanjiti na 100 mm u krivini sa minimalnim radijusom, što se poklapa sa neponištenim bočnim ubrzanjem od 1,00 m/s² i poprečnim nagibom koloseka od 6,67 %.

Međutim, promena poprečnog nagiba koloseka na dvokolosečnoj pruzi ne bi rešila problem složene geometrije površine puta (slika 4, dole). Stoga, nagla promena nagiba između dva koloseka i dalje ostaje glavni problem. U slučaju osnovog rastojanja koloseka od 4,2 m, postojala bi visinska razlika od 0,26 m na dužini od 1,02 m, što odgovara podužnom nagibu od 25,5 % (slika 6b). U ovom slučaju, autori preporučuju promenu nivelete levog ili desnog koloseka, u zavisnosti od lokalnih uslova, kako bi se postiglo da se površi kotrljanja za oba koloseka nalaze u približno istoj ravni (slika 6c). Ovo rešenje obezbeđuje ujednačenu geometriju kolovoza na prelazu u nivou, omogućavajući tako vozilima sa velikim osovinskim rastojanjem bezbedno prelaženje.

Autori preporučuju korišćenje rešenja sa slike 6a i slike 6c kao standardnih poprečnih profila prelaza u nivou na dvokolosečnoj železničkoj pruzi za kolosek u pravcu i krivini, respektivno. S druge strane, standardni poprečni profil na slici 6b predstavlja rešenje koje treba izbegavati zbog značajnih rizika po bezbednost saobraćaja pruzi za kolosek u pravcu i krivini, respektivno. S druge strane, standardni poprečni profil na slici 6b predstavlja rešenje koje treba izbegavati zbog značajnih rizika po bezbednost saobraćaja.

4. ZAKLJUČAK

Prelazi u nivou i dalje predstavljaju kritičnu tačku ranjivosti u savremenom železničkom transportu, posebno zato što se postojeća železnička infrastruktura nadograđuje za veće brzine i povećanu gustinu saobraćaja. Shodno tome, treba uložiti napore da se smanji broj prelaza u nivou, uz istovremeno osiguravanje da su oni koji se zadržavaju projektovani i održavani tako da ispunjavaju najviše bezbednosne standarde.

Ovaj rad opisuje glavne principe za projektovanje prelaza u nivou, sa posebnim fokusom na one prelaze koji se nalaze u krivinama koloseka, naročito one sa velikim nadvišenjem i malim radijusima na dvokolosečnim železničkim prugama. Ovakvi prelazi u nivou nose dodatne saobraćajne rizike zbog složene nivelete puta. Stoga, autori preporučuju primenu odgovarajućih inženjerskih rešenja za ublažavanje specifičnih rizika povezanih sa prelazima u nivou u krivinama, što podrazumeva:

- smanjenje poprečnog nagiba pruge, u skladu sa dozvoljenim neponištenim bočnim ubrzanjem, kako bi se smanjio podužni nagib puta koji se ukršta sa prugom, i
- modifikovanje nivelete levog ili desnog koloseka na dvokolosečnim železničkim prugama kako bi se postigla jednostavnija niveleta puta.

Očekuje se da će primena predloženih preporuka poboljšati bezbednost i pouzdanost prelaza u nivou koji se nalaze u krivinama pruge. Međutim, modifikovanje nivelete koloseka i slojeva donjeg stroja su praktične samo uz rekonstrukciju značajne deonice železničke pruge, kao i puta u blizini prelaza u nivou. Stoga je ovaj pristup izvodljiv samo u okviru predstojećih projekata modernizacije i rekonstrukcije železničkih pruga.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije kroz istraživački projekat br. 200092.

LITERATURA

- [1] Eurostat: Railway safety statistics in the EU (2024). <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/94376.pdf>
- [2] UIC: UIC Code 762 – Safety measures to be taken at level crossings on lines operated from 120 to 200 km/h. 2nd edn. UIC, Paris (2005).
- [3] UIC: UIC Code 761 – Guidance on the automatic operation of level crossings. 4th edn. UIC, Paris (2004).
- [4] Carletti, V., Greco, A., Saggese, A., et al.: Improving safety through advanced obstacle detection at railway level crossings. *J. Ambient Intell. Human Comput.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s12652-025-04987-z>
- [5] Aoun, R.B., El Koursi, E.M., Lemaire, E.: The cost benefit analysis of level crossing safety measures. *WIT Trans. Built Environ.* 114, 851–862 (2010). <https://doi.org/10.2495/CR100771>
- [6] Pravilnik o načinu ukrštanja železničke pruge i puta, pešačke ili biciklističke staze, mestu na kojem se može izvesti ukrštanje i merama za osiguranje bezbednog saobraćaja (eng. Rulebook on the Level Crossings of Railway Lines with Roads, Pedestrian and Bicycle Paths, the Permitted Locations for Such Crossings and Measures for Achieving Traffic Safety). *Službeni glasnik RS* 89 (2016).
- [7] Pravilnik o načinu ukrštanja željezničke pruge i puta (322) (eng. Rulebook on the Level Crossings of Railway Lines with Roads). *Službeni glasnik Republike Srpske* br. 89 (2021).
- [8] U.S. Department of Transportation: Railroad-Highway Grade Crossing Handbook – Revised Second Edition. (2017) Available at: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/86215/86215.pdf>
- [9] Lenné, M.G., Rudin-Brown, C.M., Navarro, J., Edquist, J., Trotter, M., Tomasevic, N.: Driver behaviour at rail level crossings: Responses to flashing lights, traffic signals and stop signs in simulated rural driving. *Appl. Ergon.* 42(4), 548–554 (2011). <https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2010.08.011>
- [10] Anagnostopoulos, A.: Assessing safety and infrastructure design at railway level crossings through microsimulation analysis. *Future Transp.* 5(1), 24 (2025). <https://doi.org/10.3390/futuretransp5010024>
- [11] Vilotijević, M., Lazarević, L., Popović, Z.: Railway/Road Level Crossing Design – Aspect of Safety and Environment. In: Murgul, V., Popovic, Z. (eds.) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport (EMMFT 2017), Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 692, pp. 1–10. Springer, Cham (2018). https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_84
- [12] Vilotijević, M., Lazarević, L., Popović, Z.: Design of level crossing. In: *3rd International Scientific Meeting “State and Trends of Civil and Environmental Engineering” E-GTZ*, pp. 781–788. Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, Tuzla (2016).
- [13] Lorenz, A.: Linienführung und Gradienten am Bahnübergang. *EI-Eisenbahningenieur* 58(10), 20–21 (2007).
- [14] Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga (engl. Rulebook on Technical Requirements and Maintenance of the Railway Track Superstructure). *Službeni glasnik RS* 39/2016, 74/2016.
- [15] CEN: EN 13803:2017, Railway applications - Track - Track alignment design parameters - Track gauges 1,435 mm and wider. (2017).