

Utjecaj autonomnih vozila na odabir projektnih elemenata autocesta

Čudina Ivančev, Ana; Dragčević, Vesna

Source / Izvornik: **8. simpozij doktorskog studija građevinarstva, 2022, 235 - 246**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2022>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:938925>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



Utjecaj autonomnih vozila na odabir projektnih elemenata autocesta

Ana Čudina Ivančev¹, prof. dr. sc. Vesna Dragčević²

¹Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, ana.cudina.ivancev@grad.unizg.hr

²Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, vesna.dragcevic@grad.unizg.hr

Sažetak

Uvođenjem novih tehnologija, poput umjetne inteligencije u automobile, nameće se pitanje kakva bi cestovna infrastruktura trebala biti u budućnosti. Očekuje se da će promjene biti značajne, s obzirom na činjenicu da je do sada ljudski faktor utjecao na brojne parametre u projektiranju. Sposobnost autonomnih vozila da sama upravljaju vozilom, predviđaju situacije, komuniciraju s okolnim vozilima i infrastrukturom te sredinom u kojoj se nalaze, postavlja nove zahtjeve na cestovnu infrastrukturu. Postupne promjene infrastrukture najviše će ovisiti o brzini razvoja autonomnih vozila i njihovog uvođenja u prometni sustav. Počevši od intenzivnog održavanja prometnica i popratnih sadržaja, preko izdvojenih koridora samo za autonomna vozila, dok je konačni cilj pojednostavljena i sigurna cestovna infrastruktura. Cilj ovog rada je dati pregled literature za moguću prilagodbu cestovne infrastrukture namijenjenu prometovanju autonomnih vozila te postaviti temelj za daljnje istraživanje u navedenom području.

Cljučne riječi: autonomna vozila, cestovna infrastruktura, autocesta, trak za usporenje, projektna brzina, vrijeme preuzimanja

The influence of autonomous vehicles on the selection of highway design elements

Abstract

The introduction of new technologies, such as artificial intelligence in cars, raises the question of what the road infrastructure should be like in the future. The changes are expected to be significant, given that the human factor has influenced a number of design parameters. The ability of autonomous vehicles to drive themselves, anticipate situations, communicate with surrounding vehicles and infrastructure, and the environment in which they are located, places new demands on road infrastructure. Gradual changes in infrastructure will mostly depend on the speed of development of autonomous vehicles and their introduction into the transport system. Starting with intensive maintenance of roads and accompanying facilities, through separate corridors only for autonomous vehicles, while the goal is simplified and safe road infrastructure. The aim of this paper is to provide a review of the literature for the possible adaptation of road infrastructure intended for autonomous vehicles and to lay the foundation for further research in this area.

Key words: autonomous vehicles, road infrastructure, highway, deceleration lane, design speed, takeover time

1 Uvod

Svakim danom sve je veći broj ljudi koji žive u gradovima. S povećanjem populacije u gradovima povećava se i broj automobila, a samim time zagađenje zraka sve je veće. Već više od 20 godina Europska unija promiče održivi razvoj koji bi trebao omogućiti ravnotežu između zadovoljenja današnjih potreba i mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe [1]. Ciljevi Europske komisije na polju Istraživanja i inovacija kroz Strategiju 2020.-2024. i Okvirni program Obzor Europa 2021. - 2027. su poticanje razvoja zelenih i digitalnih tehnologija u svrhu unaprjeđenja održivijeg i prosperitetnijeg življenja. Unutar navedene Strategije, potiče se i razvoj klimatski neutralnih “pametnih gradova” [2].

Sastavni dio takvih gradova su svakako nove vrste vozila. Zbog elektromotornog pogona autonomna vozila predstavljaju čišći, tiši i energetski učinkovit transportni sustav. Smanjenjem potreba za parkiranjem te suženjem širina voznih trakova, omogućuje se prenamjena vrijednih gradskih prostora. Također, periferija postaje atraktivnija jer će većem broju ljudi biti omogućeno lakše doći do gradova, s tim da će vrijeme provedeno u vožnji moći biti iskorišteno u neku drugu korist [1]. S obzirom na moguće prednosti koje autonomna vozila donose prometnom sustavu, kao što su povećanje sigurnosti vožnje, povećanje mobilnosti za nepokretne, maloljetne i starije osobe, povećanje propusne moći cestovne infrastrukture, već se u znanstvenim krugovima razmatraju mogućnosti promjene cestovne infrastrukture u budućnosti [3].

Očekuje se da će prva autonomna vozila najprije voziti po izvangradskim cestama (autocestama), a tek potom u urbanim sredinama i to u periodu između 2030. i 2050. godine [4]. Na autocestama se, uslijed potrebe za ostvarenjem velikih brzina, primjenjuju veliki polumjeri horizontalnih krivina, blagi uzdužni nagibi nivelete, široki prometni trakovi i slično. Istraživanje [5] fokusirano na utvrđivanje naprednih funkcija autonomnih vozila pokazalo je da strmi uzdužni nagibi i kratke horizontalne krivine mogu uzrokovati pogreške u sustavu te da je na autocestama vožnja takvim vozilima najsigurnija, s obzirom na njezine geometrijske karakteristike. Uz navedeno, pokazalo se da vozilo ne prepoznaje uvijek horizontalnu signalizaciju pa sustav nije u mogućnosti pozicionirati vozilo u sredinu prometnog traka.

Istraživanja [6] predviđaju i da će prva autonomna vozila biti teretna vozila. Autonomna teretna vozila doprinijela bi gospodarstvu smanjenjem troškova rada i goriva, a dostava i doprema bile bi brže nego sada. Ovakva vozila mogla bi voziti u cestovnim vlakovima (tzv. “platooning”) prilikom čega se vozila voze jedno iza drugog na malom prostornom razmaku. Osim toga ne bi bilo vremenskih ograničenja za vožnju koja danas vozači imaju te bi sigurnost vožnje bila veća.

Znanstvena istraživanja sugeriraju uspostavljanje standarada i smjernica za projektiranje, odnosno prilagodbu cestovne infrastrukture novim prometnim trendovima.

Brzim napretkom automobilske industrije ne bi se smjelo dogoditi da cestovna infrastruktura ne bude spremna za uvođenje autonomnih vozila u prometni sustav. Udio autonomnih vozila u prometnom sustavu trebao bi do 2050. godine biti veći od 50% [7], a predviđanja i želje unutar Europske unije sežu čak i da do 2050. godine Europa bude prvi klimatski neutralni kontinent (koji uklanja onoliko emisija CO₂ koliko ih proizvodi) [2].

2 Autonomna vozila i utjecaj na cestovnu infrastrukturu

U literaturi [8] se navodi da napredak cestovne infrastrukture mora pratiti razvoj automobilske industrije. Iako će se glavna promjena dogoditi u digitalnoj infrastrukturi, ne treba zanemariti moguće promjene u cestovnoj (fizičkoj) infrastrukturi. Predviđaju se tri faze uvođenja automatiziranih vozila u prometni sustav, a ovisno o razini njihove autonomije i o njihovom udjelu u ukupnom broju vozila na cestama, ovisi i prilagodba cestovne infrastrukture. Počevši od intenzivnog održavanja prometnica i popratnih sadržaja, preko izdvojenih koridora samo za autonomna vozila, dok je konačni cilj pojednostavljena i sigurna cestovna infrastruktura prilagođena prometu autonomnih vozila [7]. Razvoj i prilagodba cestovne infrastrukture ponajviše ovisi o razvoju autonomnih vozila.

Udruženje automobilskih inženjera (SAE) je svrstalo automatizirana vozila u tablicu po razinama autonomije od L0 do L5, gdje razina L0 podrazumijeva konvencionalno vozilo bez automatizacije, a razina L5 potpuno autonomno vozilo [9]. Vozila razine L3 već su proizvedena [10]. S povećanjem razine autonomije, angažman u vožnji prelazi s vozača na vozilo. Klasifikacija je prikazana u tablici 1 [7].

Tablica 1. SAE klasifikacija automatizacije [7]

Br.	Naziv razine	Zadatak vožnje		Odziv na neuspjeh	Operativno područje
		Bočna i uzdužna kontrola	Nadgledanje okoline		
Vozač obavlja dio ili cijeli zadatak vožnje					
0	Bez automatizacije	Vozač	Vozač	Vozač	Nije primjenjivo
1	Vozačevo sudjelovanje	Vozač i sustav	Vozač	Vozač	Ograničeno
2	Djelomična autonomnost	Sustav	Vozač	Vozač	Ograničeno
Sustav obavlja cijeli zadatak vožnje					
3	Uvjetna autonomnost	Sustav	Sustav	Vozač i sustav	Ograničeno
4	Visoka autonomnost	Sustav	Sustav	Sustav	Ograničeno
5	Potpuna autonomnost	Sustav	Sustav	Sustav	Neograničeno

Prilikom projektiranja cestovne infrastrukture potrebno je odrediti mjerodavno vozilo. S obzirom na to da se autonomnim vozilima dodaju senzori te ugrađuju digitalne komponente, nema značajne promjene u veličini i masi vozila [6]. Dosadašnja istraživanja [11, 12] pokazala su da će se parametri za projektiranje cestovne infrastrukture u budućnosti promijeniti zato što su postojeće ceste projektirane prema ljudskim karakteristikama i ograničenjima.

U prethodnim istraživanjima [13], provedenim od strane autora ovog rada analiziran je utjecaj autonomnih vozila na pojedine projektne elemente definirane hrvatskim Pravilnikom [14]. U nastavku su ukratko opisani parametri koji su bili obuhvaćeni navedenom analizom. Vrijeme reakcije je parametar koji utječe na zaustavnu preglednost te bi za autonomna vozila, uslijed smanjenja vremena reakcije, značajno bila smanjena i zaustavna preglednost. Smanjenje zaustavne preglednosti, uz povećanje visine oka vozača/visine senzora autonomnog vozila, utječe na minimalni polumjer konveksne vertikalne krivine. Smanjenim vrijednostima polumjera vertikalnih krivina moguće je bolje prilagoditi cestu terenu i smanjiti troškove izgradnje. Autonomna vozila utjecat će na uvjet za primjenu pravca pri trasiranju. Predviđa se i razlika u poprečnom presjeku ceste uslijed mogućih suženja prometnih trakova. Svakako treba napomenuti da će se nova infrastruktura po ovim pravilima moći projektirati tek kada na cestama budu prometovala isključivo autonomna vozila [15].

S obzirom na sve navedeno, u ovom radu fokus je stavljen na autocestu kao cestu na koju će se autonomna vozila prvo uvesti te mogućoj korekciji pojedinih projektnih elemenata. Optimalno geometrijsko oblikovanje autoceste ovisno je o tome projektira li se nova infrastruktura ili se provodi rekonstrukcija te je dodatno uvjetovano udjelom autonomnih vozila u cjelokupnom prometnom sustavu. Za optimalno oblikovanje bilo kojeg projektnog elementa, odnosno prilagodbe cestovne infrastrukture autonomnim vozilima, nužna je detaljna analiza i sagledavanje svih utjecajnih parametara. U tablici 2 prikazani su projektni elementi autoceste koji bi se s povećanjem udjela autonomnih vozila u prometnom sustavu mogli mijenjati ovisno o tome projektira li se nova infrastruktura ili se provodi rekonstrukcija postojeće.

Pri rekonstrukciji postojeće infrastrukture treba dodatno razmotriti i financijski učinak u odnosu na ekonomičnost korištenja prostora, propusnu moć i sigurnost prometa. Zbog širine teme te ograničenog opsega ovog rada u nastavku je na primjeru traka za usporeenje prikazan postupak istraživanja optimalnog oblikovanja.

Tablica 2. Analiza projektnih elemenata autoceste s obzirom na udio autonomnih vozila

Udio autonomnih vozila	Cestovna infrastruktura	Projektni elementi autoceste				
		Tlocrtni elementi	Uzdužni presjek	Poprečni presjek	Čvorišta	Trak za usporenje
0 %	nova	-	-	-	-	-
	rekonstrukcija	-	-	-	-	-
50 %	nova	-	-	-	-	+
	rekonstrukcija	-	-	+/-	+/-	+
100 %	nova	+	+	+	+	+
	rekonstrukcija	+/-	+/-	+	+/-	+

Legenda: - ne mijenja se; + mijenja se, +/- razmotriti

3 Prilagodba duljine trakova za usporenje na autocestama za promet autonomnih vozila

U postojećim istraživanjima [10] sve se češće obrađuje problematika vezana za duljine trakova za usporenje na autocestama jer su to mjesta visokog rizika, s velikim brojem prometnih nesreća. U svrhu poboljšanja sigurnosti, potrebno je odrediti optimalnu duljinu ovih trakova u uvjetima miješanog prometa konvencionalnih vozila i autonomnih vozila različitih razina autonomije.

Izvozi i uvozi na autocestu provode se na čvorištima izvan razine preko spojnih rampi. Loše oblikovani izvozi spojnih rampi uzrokuju smetnje na prolaznom kolniku, a uvozi smanjuju propusnu moć rampe i sigurnost prometa [16]. U prethodnim istraživanjima vezanim za duljinu traka za usporenje, utvrđeno je da kraći trakovi za usporenje uzrokuju promjene u brzinama na prolaznim kolnicima. Dulji trakovi omogućuju ravnomjernu raspodjelu brzina na prolaznim kolnicima i dovoljno vremena za usporenje vozilima koja izlaze [10].

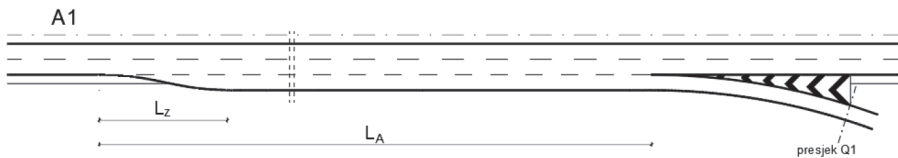
Trenutno u Hrvatskoj ne postoje smjernice za oblikovanje čvorišta izvan razine, odnosno njihovih trakova za usporenje. Iz tog su razloga u ovom radu prikazani i analizirani parametri koji utječu na geometrijsko oblikovanje (duljinu) trakova za usporenje, prema njemačkim smjernicama RAA [17] i švicarskoj normi SN 640 261 [18], a čije bi se vrijednosti u budućnosti (kada se u promet uvedu autonomna vozila) mogle promijeniti.

3.1 Njemačke smjernice

Duljina traka za usporenje L_A ovisi o projektnoj brzini na prolaznom kolniku V_p [km/h] i o tipu izlaza A (slika 1). Tipovi izlaza razlikuju se u načinu odvajanja prometnih trakova i broju trakova za usporenje, broju trakova prolaznog kolnika i broju trakova na rampi, kao i u poprečnom presjeku na rampi.

Poprečni presjek na rampi je prethodno uvjetovan prometnim opterećenjem ($q \leq 1350$ voz/h i $q > 1350$ voz/h) te duljinom rampe ($l \leq 500$ m i $l > 500$ m). Razlikujemo četiri tipa poprečnih presjeka: jednostručna jednosmjerna rampa Q1, dvotračna dvosmjerna rampa Q2, dvotračna jednosmjerna rampa sa zaustavnim trakom Q3 i dvotračna dvosmjerna rampa Q4. Vrijednosti L_A ovisno o tipu izlaza A kreću se od 100 - 150 m za $V_p = 80$ km/h te 150 - 250 m za $V_p = 100 - 130$ km/h. Ukoliko se predviđaju dva traka za usporenje uzima se dvostruka vrijednost L_A .

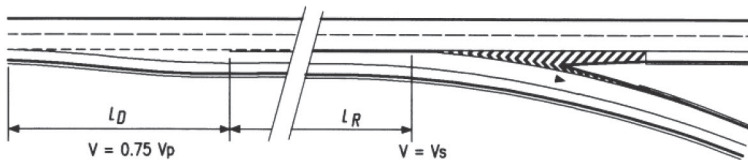
Sastavni dio duljine traka za usporenje L_A je prijelazni potez L_Z . Duljina mu je ista za sve tipove izlaza i iznosi 30 m za $V_p = 80$ km/h te 60 m za $V_p = 100 - 130$ km/h. Iznimno, ako se odvajaju dva prometna traka s prolaznog kolnika, uzima se dvostruka vrijednost. Ukoliko se odvajaju dva prometna traka na način da se jedan prometni trak dodaje a jedan izuzima s prolaznog kolnika, tada duljina prijelaznog poteza mora iznositi $\geq 3L_Z$.



Slika 1. Trak za usporenje prema RAA [17]

3.2 Švicarska norma

Prema [18] trak za usporenje sastoji se od prijelaznog poteza L_D i poteza za usporenje L_R , a prikazan je na slici 2.



Slika 2. Trak za usporenje prema SN [18]

Prijelazni potez se označava oznakom L_D , a njegova duljina ovisi o projektnoj brzini na prolaznom kolniku V_p [km/h] i vrsti prometnice. Na cestama velikog učinka za $V_p = 80$ km/h duljina $L_D = 60$ m, $V_p = 100$ km/h duljina $L_D = 75$ m, a za $V_p = 120$ km/h duljina $L_D = 90$ m.

Potez za usporenje L_R računa se prema izrazu:

$$L_R = \frac{(0,75 \cdot V_p)^2 - V_s^2}{26 \cdot \left(a \pm \frac{i}{100}\right)} \text{ [m]}$$

gdje je:

- V_p - projektna brzina na prolaznom kolniku [km/h];
- V_s - brzina na kraju poteza za usporenje [km/h];
- a - srednje usporenje [m/s^2] za $i = 0$ % iznosi 1,5 – 2,0 m/s^2 ;
- i - uzdužni nagib [%], pozitivan za uspon, negativan za pad.

Za projektne brzine 100 – 120 km/h i uzdužni nagib 0 % te srednje usporenje 1,5 m/s^2 , duljina L_R iznosi 20 – 165 m, ovisno o brzini V_s [18].

3.3 Usporedba parametara danih u njemačkim i švicarskim propisima

Sumarni prikaz parametara koji utječu na ukupnu duljinu traka za usporenje prema njemačkim smjernicama RAA [17] i švicarskoj normi SN 640 261 [18] prikazan je u tablici 3.

Tablica 3. Sumarni prikaz utjecajnih parametara

	Trak za usporenje	
	RAA [17]	SN [18]
Ppoprečni presjek	+	-
q [voz/h]	+	-
V_p [km/h]	+	+
V_s [km/h]	-	+
i [%]	-	+
a [m/s^2]	-	+

Iz tablice je jasno da su parametri oblikovanja analiziranih njemačkih smjernica i švicarske norme potpuno različiti, a jedini zajednički parametar pri određivanju duljine traka je projektna brzina na prolaznom kolniku.

3.4 Utjecaj autonomnih vozila na duljine trakova za usporenje

Prema njemačkim smjernicama poprečni presjek rampe na čvorištima izvan razine određen je prema prometnom opterećenju i duljini rampe te utječe na odabir tipa traka za usporenje. Poprečni presjek rampe bi mogao doživjeti promjene u budućnosti uslijed mogućnosti autonomnih vozila da ostanu centrirana unutar prometnog traka. Međutim ovakve promjene će biti moguće tek kada na cestama budu prometovala isključivo autonomna vozila [15]. Pretpostavlja se da će utjecaj autonomnih vozila na prometno opterećenje i na propusnu moć biti značajan s obzirom na smanjene razmake između vozila, ravnomjernu raspodjelu brzina vožnje te mogućnost međusobne suradnje putem V2V (“vehicle-to-vehicle“) sustava [19].

Parametri oblikovanja trakova za usporenje poput projektne brzine na prolaznom kolniku i brzine na kraju poteza za usporenje ne bi trebali doživjeti promjene u budućnosti s obzirom na to da će autonomna vozila voziti prema brzini ograničenoj prometnim znakom, odnosno dopuštenu brzinu vožnje na pojedinoj dionici ceste. Uzdužni nagib je parametar koji ovisi o karakteristikama vozila za koja se predviđa da se neće mijenjati [6].

Utjecaj akceleracije, odnosno u slučaju duljine traka za usporenje, utjecaj srednjeg usporenja nešto je o čemu se piše u znanstvenoj literaturi [10]. Pretpostavlja se da će autonomna vozila kontinuirano kočiti bez naglih radnji te da će usporavanje trajati dulje. To znači da će, prema [18] vrijednost parametra "a" biti manja, a duljina poteza za usporenje veća. U korelaciju s usporavanjem se dovodi i razina autonomije vozila. Provedeno je istraživanje [10] s vozačima koji su u simulatoru vožnje na dionicama autoceste vozili autonomna vozila razine L3. Vozila L3 se oslanjaju na čovjeka i na eventualno preuzimanje kontrole prilikom neprepoznavanja okoliša ili nekih nepredviđenih situacija. Jedan od mogućih događaja za koji se predviđa preuzimanje kontrole od strane vozača je pojava traka za usporenje na autocesti i manevar promjene traka. Istraživanje je pokazalo da je vrijeme reakcije za početak usporavanja produljeno zbog potrebe za preuzimanjem kontrole nad vozilom te da bi se zbog sigurnosnih razloga duljine trakova za usporenje trebale povećati. Vrijeme za preuzimanje kontrole promatrano je kroz vremensko ograničenje od 5 s i od 8 s. Temeljem prethodno navedenog, u ovom radu je napravljena analiza mogućeg produljenja traka za usporenje (ΔL) prema do sada dostupnim podacima iz literature. Trenutno jedini dostupni parametar za analizu je vrijeme za preuzimanje kontrole nad vozilom koje se do tog trenutka kretalo u autonomnom načinu. Promatrane su postojeće duljine trakova za usporenje (L_u) prema njemačkim i švicarskim propisima, s obzirom na različite projektne brzine na prolaznom kolniku (80 - 120 km/h) uz pretpostavku da se vozilo giba jednoliko. Za analizu je odabran tip izlaza A1 po njemačkim smjernicama RAA i srednje usporenje od $1,5 \text{ m/s}^2$ te uzdužni nagib od 0% po švicarskoj normi. Prema jednadžbi u nastavku dobiveno je produljenje traka za usporenje (ΔL) s obzirom na događaj preuzimanja koji se odvija na prolaznom traku (slika 3, tablica 4).

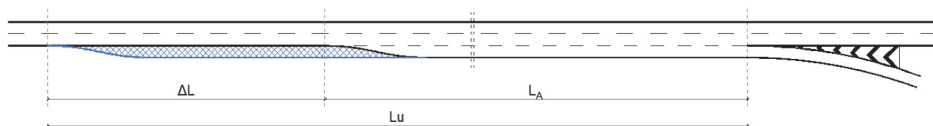
$$\Delta L = \frac{V_p}{3,6} \cdot t \text{ [m]}$$

gdje je:

ΔL - produljenje traka za usporenje [m];

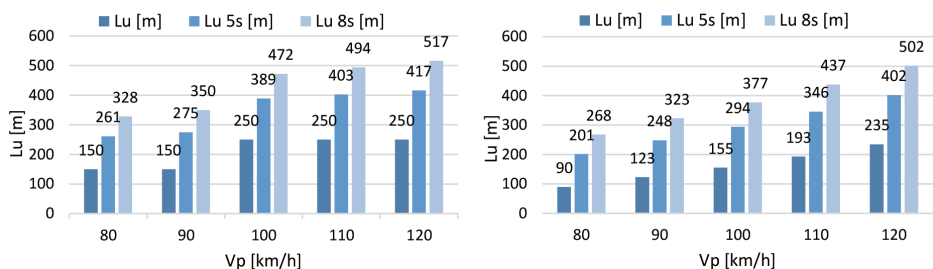
V_p - brzina na prolaznom kolniku [km/h];

t - vrijeme za preuzimanje kontrole nad vozilom [s].


 Slika 3. Prikaz produljenja traka za usporenje ΔL

 Tablica 4. Produljenje traka za usporenje ΔL ovisno o vremenu preuzimanja i projektnoj brzini

t [s]	ΔL [m]				
	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h
5	111	125	139	153	167
8	178	200	222	244	267


 Slika 4. Promjene u duljini traka za usporenje L_u s obzirom na vrijeme preuzimanja od 5 i 8 s i projektnu brzinu V_p : a) prema RAA; b) prema SN

Rezultati analize dani su u tablici 3 i na grafovima prikazanim na slici 4. Potrebno produljenje traka za usporenje (ΔL) iznosi od 111 do 167 m za vrijeme preuzimanja od 5 s te od 178 do 267 m za vrijeme od 8 s. Navedeno dovodi do i više nego dvostruko većih duljina trakova za usporenje (L_u), koji su prema postojećim njemačkim smjernicama duži nego prema švicarskoj normi. Za kvalitetniju i realniju analizu duljina trakova bilo bi potrebno analizirati nejednoliko gibanje s podacima o srednjem usporenju po različitim presjecima – na prolaznom kolniku, na početku poteza za usporenje i na kraju poteza za usporenje.

4 Zaključak

Prilagodba cestovne infrastrukture ovisit će o razvoju autonomnih vozila i njihovom udjelu prometnoj mreži. U ovom radu naglasak je stavljen na autocestu kao cestu na koju će se autonomna vozila prvo uvesti. Analizirani su projektni elementi autoceste za gradnju nove cestovne infrastrukture i za rekonstrukciju postojeće, s obzirom na udio autonomnih vozila u prometnom sustavu. Nova infrastruktura moći će biti građena tek kada na cestama budu prometovala isključivo autonomna vozila, dok

će se u ranijim fazama pri rekonstrukciji postojeće infrastrukture morati razmotriti i financijski učinak u odnosu na ekonomičnost korištenja prostora, propusnu moć i sigurnost prometa. U radu je napravljena analiza jednog projektnog elementa – trakova za usporenje. Analizirane su duljine trakova za usporenje prema njemačkim smjernicama i švicarskoj normi te je prikazana moguća prilagodba za autonomna vozila. Pokazalo se da bi se duljine trakova za usporenje trebale povećati i za više od dvostruke vrijednosti. Za dobivanje optimalne duljine trakova za usporenje trebalo bi analizirati gibanje vozila u presjecima na prolaznom kolniku te na početku i na kraju poteza za usporenje, s obzirom na vrijednost srednjeg usporenja. Također, u svrhu daljnje analize duljine trakova za usporenje trebalo bi u obzir uzeti prostorne razmake između vozila te različite udjele autonomnih i konvencionalnih osobnih, ali i teretnih vozila na autocestama. Sustavnom analizom dostupnih podataka o načinu vožnje i funkcioniranju autonomnih vozila stvara se temelj za promjene u cestovnoj infrastrukturi budućnosti.

Literatura

- [1] Gavanas N.: Autonomous Road Vehicles: Challenges for Urban Planning in European Cities, *Urban Science*, 3, 61, 2019.
- [2] Strategic Plan 202-2024, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/rtd_sp_2020_2024_en.pdf
- [3] Manivasakan, H., Kalra, R., O’Hern, S., Fang, Y., Xi, Y., Zheng, N.: Infrastructure requirement for autonomous vehicle integration for future urban and suburban roads – Current practice and a case study of Melbourne, Australia, *Transportation Research Part A*, 152, 36-53, 2021.
- [4] Fayyaz, M., González- González, E., Nogués, S., Autonomous Mobility: A Potential Opportunity to Reclaim Public Spaces for People, *Sustainability*, 14, 1568, 2022.
- [5] Tak, S., Kim, S., Yu, H., Lee D.: Analysis of Relationship between Road Geometry and Automated Driving Safety for Automated Vehicle-Based Mobility Service, *Sustainability*, 14, 2336, 2022.
- [6] Wang., S., Yu, B., Ma, Y., Liu, J., Zhou, W.: Impacts of Different Driving Automation Levels on Highway Geometric Design from the Perspective of Trucks, *Hindawi, Journal of Advanced Transportation*, Volume 2021, 2021.
- [7] Liu, Y., et al: A Systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles (CAVs), *Journal of Physics: Conference Series* 1187 042073, 2019.
- [8] Rana, M., Hossain, K.: Connected and Autonomous Vehicles and Infrastructures: A Literature Review, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2021.

- [9] SAE International, <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>
- [10] Chen, C., Lin, Z., Zhang, S., Chen, F., Chen, P., Zhang L.: The Compability between the Takeover Process in Conditional Automated Driving and the Current Geometric Design of the Deceleration Lane in Highway, *Sustainability*, 13, 13403, 2021.
- [11] Aryal, P.: Optimization of geometric road design for autonomous vehicle, Degree project, 2020., KTH Royal Institute of technology, Stockholm, Sweden
- [12] Othman, K.: Impact of Autonomous Vehicles on the Physical Infrastructure: Changes and Challenges, *Designs*, 5,40, 2021.
- [13] Čudina Ivančev, A., Dragčević, V., Džambas, T.: Road infrastructure requirements to accommodate autonomous vehicles, 7th International Conference on Road and Rail Infrastructure, Pula, pp. 175-181, 2022.
- [14] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/2001)
- [15] Guerrieri, M., Mauro, R., Pompigna, A., Isaenko, N.: Road Design Criteria and Capacity Estimation Based on Autonomous Vehicle Performances. First Results from the European C-Roads Platform and A22 Motorway, *Transport and Telecommunication*, volume 22, no.2, 230-243, 2021.
- [16] Klemenčić, A.: Oblikovanje cestovnih čvorišta izvan razine, Građevinski Institut Zagreb, 1982.
- [17] Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), FGSV, 2008.
- [18] Knoten, Kreuzungsfreie Knoten, SN 640 261, Schweizer Norm, 1998.
- [19] Milakis, D., Snelder, M., van Arem, B., van Wee, B., de Almeida Correia, G. H.: Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050, *EJTIR* 17(1), pp. 63-85, 2017.