

# Projektiranje autocesta prilagođenih prometu autonomnih vozila

---

Čudina Ivančev, Ana; Dragčević, Vesna; Džambas, Tamara

*Source / Izvornik:* **Zajednički temelji 2023. - uniSTem : deseti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, Split, 14.-17. rujna, 2023. : zbornik radova, 2023, 68 - 73**

**Conference paper / Rad u zborniku**

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

<https://doi.org/10.31534/10.ZT.2023.08>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:998371>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)





UDRUGA  
HRVATSKIH  
GRAĐEVINSKIH  
FAKULTETA



<https://doi.org/10.31534/10.ZT.2023.08>

## PROJEKTIRANJE AUTOCESTA PRILAGOĐENIH PROMETU AUTONOMNIH VOZILA

**Ana Čudina Ivančev<sup>1</sup>, Vesna Dragčević<sup>1</sup>, Tamara Džambas<sup>1</sup>**

(1) Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Hrvatska, [ana.cudina.ivancev@grad.unizg.hr](mailto:ana.cudina.ivancev@grad.unizg.hr),  
[vesna.dragcevic@grad.unizg.hr](mailto:vesna.dragcevic@grad.unizg.hr), [tamara.dzambas@grad.unizg.hr](mailto:tamara.dzambas@grad.unizg.hr)

### Sažetak

U posljednjih nekoliko godina sve je veći broj istraživanja koja se bave razvojem autonomnih vozila. Sposobnost autonomnih vozila da samostalno upravljaju, predviđaju situacije, komuniciraju s okolnim vozilima i infrastrukturom te sredinom u kojoj se nalaze, postavlja nove zahtjeve za projektiranje cestovne infrastrukture. Postupna prilagodba cestovne infrastrukture u najvećoj će mjeri ovisiti o stupnju razvoja autonomnih vozila i njihovom udjelu u prometnom toku. U ovom su radu prikazani rezultati postojećih istraživanja vezanih uz geometrijsko oblikovanje autocesta prilagođenih prometu autonomnih vozila te su dane smjernice za provedbu daljnjih istraživanja čiji će cilj biti detaljna analiza svih projektnih elemenata prilikom izgradnje novih ili rekonstrukcije postojećih autocesta, a ovisno o udjelu autonomnih vozila u prometnom toku.

*Ključne riječi: autonomna vozila, projektiranje, autocesta, smjernice*

## DESIGNING HIGHWAYS FOR THE TRAFFIC OF AUTONOMOUS VEHICLES

### Abstract

In the last few years, there has been an increasing amount of research dealing with the development of autonomous vehicles. The ability of autonomous vehicles to drive themselves, predict situations, communicate with surrounding vehicles and infrastructure, and interact with the environment in which they are located sets new requirements for designing road infrastructure. Gradual adaptation of the road infrastructure will largely depend on the level of development of autonomous vehicles and their share in the traffic flow. This paper presents the results of existing research related to the geometric design of highways adapted to the traffic of autonomous vehicles and provides guidelines for the implementation of further research. The main purpose of the research will be a detailed analysis of all project elements during the construction of new or reconstruction of existing highways, depending on the share of autonomous vehicles in traffic flow.

*Keywords: autonomous vehicles, design, highway, guidelines*

## 1. Uvod

U današnje vrijeme autonomna vozila privlače puno pozornosti u znanosti i industriji diljem svijeta, a njihov sve brži razvoj najavljuje i značajnu potrebu za prilagodbom prometne infrastrukture [1]. Brojne europske zemlje financiraju istraživačke projekte te postavljaju ciljeve i strateške planove za autonomnu mobilnost [2], dok znanstvena istraživanja sugeriraju uspostavljanje standarada i smjernica za projektiranje, odnosno prilagodbu cestovne infrastrukture novim prometnim trendovima [3]. Predviđaju se tri faze uvođenja autonomnih vozila u prometni sustav (Tablica 1.), a prilagodba cestovne infrastrukture ovisit će o razini njihove autonomije te udjelu takvih vozila u prometnom toku. U prvoj fazi prilagodbe radi se na intenzivnom održavanju prometnica i popratnih sadržaja, dok se u sljedećim fazama planira izdvajanje zasebnih koridora za autonomna vozila te, u konačnici, pojednostavljenje, odnosno prilagodba cestovne infrastrukture prometu takvih vozila [4].

**Tablica 2.** Udio autonomnih vozila [4]

Faza	Vrijeme uvođenja	Udio autonomnih vozila	Prilagodba infrastrukture
1	sada	< 20 %	intenzivno održavanje
2	2030-e	20 – 50 %	izdvojeni koridori
3	2050-e	> 50 %	nova infrastruktura

Razvoj i prilagodba cestovne infrastrukture prvenstveno će ovisiti o razvoju autonomnih vozila. Udruženje automobilskih inženjera (SAE) klasificiralo je autonomna vozila po razinama autonomije od L0 do L5 [4], gdje razina L0 podrazumijeva konvencionalno vozilo bez autonomije, a razina L5 potpuno autonomno vozilo [5] (Tablica 2).

**Tablica 3.** SAE klasifikacija autonomije [4]

Razina autonomije	Naziv razine	Zadatak vožnje		Odziv na neuspjeh	Operativno područje
		Bočna i uzdužna kontrola	Nadgledanje okoline		
Vozač obavlja dio ili cijeli zadatak vožnje					
0	bez autonomije	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

Očekuje se da će prva autonomna vozila najprije voziti po autocestama, a tek potom u urbanim sredinama i to u periodu između 2030. i 2050. godine [6]. Istraživanje [7] fokusirano na utvrđivanje naprednih funkcija autonomnih vozila pokazalo je da veliki 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.

## 2. Utjecaj autonomnih vozila na projektiranje autocesta

Prilikom projektiranja cestovne infrastrukture potrebno je odrediti mjerodavno vozilo. Autonomna vozila sadrže različite vrste senzora te napredne sustave za podršku vozaču pri upravljanju vozilom, dok se njihove dimenzije ne razlikuju od dimenzija konvencionalnih vozila [8]. Uz navedeno, istraživanja [9, 10] su pokazala da će se u budućnosti u najvećoj mjeri promijeniti oni parametri za projektiranje cestovne infrastrukture koji su direktno vezani uz karakteristike vozača (npr. vrijeme reakcije, visina oka vozača i sl.).

U prethodnom istraživanju [11] provedenom od strane autora ovog rada, analiziran je utjecaj autonomnih vozila na odabir projektnih elemenata javnih cesta izvan naselja definiranih hrvatskim Pravilnikom [12]. Vrijeme reakcije je parametar koji utječe na duljinu zaustavne preglednosti. S obzirom da autonomna vozila sadrže senzore čije je vrijeme prepoznavanja prepreke na cesti (0,2 – 0,5 s) značajno manje od vremena reakcije vozača (1 – 2 s), zaključeno je da bi se duljine zaustavne preglednosti na autocestama mogle smanjiti od 21 do 33 %, ovisno o računskoj brzini. Uslijed manje duljine zaustavne preglednosti te činjenice da se prethodno navedeni senzori nalaze na krovu vozila na visini od oko 1,85 m iznad tla, a visina oka vozača iznosi 1,0 m, vrijednosti minimalnih polumjera konveksnih vertikalnih krivina smanjile bi se od 67 do 72 %. Nadalje, s obzirom da takvim vozilom neće upravljati vozač, zaključeno je da će promet autonomnih vozila utjecati i na uvjet za primjenu pravca pri trasiranju (zamor vozača, zasljepljivanje svjetlima vozila iz suprotnog smjera). Predviđaju se i promjene u poprečnom presjeku ceste, odnosno moguća suženja prometnih trakova od 65 do 75 cm, do kojih bi moglo doći uslijed korištenja sustava zadržavanja vozila u prometnom traku i, posljedično, smanjenja zaštitnih bočnih širina uz vozilo. U jednom istraživanju provedenom u Velikoj Britaniji [13] autori su prezentirali nove optimizirane poprečne presjeke na autocesti nestandardnih dimenzija. Radilo se o autocesti s postojećim tri prometna traka i zaustavnim trakom te je predloženo pet optimiziranih poprečnih presjeka kojima su varirane širine (2,5 – 5,0 m) i broj prometnih trakova (3 ili 4), pri čemu je uvijek vanjski prometni trak uz zaustavni trak bio rezerviran isključivo za promet autonomnih teretnih vozila. Zaključno, prema svemu navedenom pokazalo se da će prethodno opisana projektna pravila u slučaju prometa

autonomnih vozila biti „blaža“. Svakako, treba napomenuti i da će se nova prometna infrastruktura prema takvim projektnim pravilima moći projektirati tek kada na cestama budu prometovala isključivo autonomna vozila, odnosno kada u prometnom toku više ne bude konvencionalnih vozila [14].

U drugom istraživanju [15] provedenom od strane autora ovog rada, analiziran je utjecaj autonomnih vozila na duljinu trakova za usporeenje na autocestama prema njemačkim smjernicama [16] i švicarskoj normi [17]. Naime, vozila razine autonomije L3 još uvijek se oslanjaju na vozača i na eventualno preuzimanje kontrole prilikom neprepoznavanja okoliša ili nekih nepredviđenih situacija, kao što je primjerice pojava traka za usporeenje na autocesti. Predmetno istraživanje je pokazalo da bi se zbog duljeg vremena reakcije za početak radnje usporavanja (5 ili 8 s) duljine trakova za usporeenje trebale povećati i za više od dvostruko. Takva promjena u projektiranju može se uvesti i u ranijim fazama uvođenja autonomnih vozila u promet, s obzirom da ista ne utječe na sigurnost prometovanja konvencionalnih vozila. Druga istraživanja su pokazala [18] da će na duljinu traka za usporeenje utjecati i vrijednost srednjeg usporeenja s obzirom da se pretpostavlja da će autonomna vozila kočiti kontinuirano te da će usporeenje trajati dulje [17]. Iz navedenog proizlazi da će vrijednost akceleracije biti manja, a samim time duljina traka za usporeenje još veća.

### 3. Diskusija i zaključak

Optimalno geometrijsko oblikovanje autoceste ovisno je o tome projektira li se nova infrastruktura ili se provodi rekonstrukcija postojeće 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 3. 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.

**Tablica 4.** Analiza projektnih elemenata autoceste s obzirom na udio autonomnih vozila [15]

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

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

Pri rekonstrukciji postojeće infrastrukture treba dodatno razmotriti i financijski učinak u odnosu na ekonomičnost korištenja prostora, propusnu moć i sigurnost prometa.

S obzirom na sve navedeno, u daljnjim istraživanjima će se detaljnije analizirati geometrijsko oblikovanje svakog pojedinog projektnog elementa prilikom izgradnje novih ili rekonstrukcije postojećih autocesta, a ovisno o udjelu autonomnih vozila u prometnom toku (50 % ili 100 %) (Tablica 3.) U konačnici, provedena istraživanja rezultirat će izradom smjernica za projektiranje autocesta prilagođenih prometu autonomnih vozila.

## Literatura

- [1] Tengilmoglu, O., Carsten, O., Wadud, Z.: Implications of automated vehicles for physical road environment: A comprehensive review, *Transportation Research Part E*, 169, 2022, doi: 10.1016/j.tre.2022.102989
- [2] Gavanas N.: Autonomous Road Vehicles: Challenges for Urban Planning in European Cities, *Urban Science*, 3, 61, 2019, doi: 10.3390/urbansci3020061
- [3] Rana, M., Hossain, K.: Connected and Autonomous Vehicles and Infrastructures: A Literature Review, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2021, doi: 10.1007/s42947-021-00130-1
- [4] Liu, Y., et al: A Systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles (CAVs), *Journal of Physics: Conference Series* 1187 042073, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1187/4/042073
- [5] 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>, 14.6.2023.
- [6] Fayyaz, M., González- González, E., Nogués, S.: Autonomous Mobility: A Potential Opportunity to Reclaim Public Spaces for People, *Sustainability*, 14, 1568, 2022, doi: 10.3390/su14031568
- [7] 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, doi: 10.3390/su14042336
- [8] 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, doi: 10.1155/2021/5541878
- [9] Aryal, P.: Optimization of geometric road design for autonomous vehicle, Degree project, 2020., KTH Royal Institute of technology, Stockholm, Sweden
- [10] Othman, K.: Impact of Autonomous Vehicles on the Physical Infrastructure: Changes and Challenges, *Designs*, 5,40, 2021, doi: 10.3390/designs5030040
- [11] Čudina Ivančev, A., Dragčević, V., Džambas, T.: Road infrastructure requirements to accommodate autonomous vehicles, *CETRA 2022, 7th International Conference on Road and Rail Infrastructure*, Pula, pp. 175 - 181, 2022, doi:10.5592/CO/CETRA.2022.1462
- [12] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/01, 90/22)
- [13] Jehanfo, H., Hu, S., Kaparias, I., Preston, J., Zhou, F., Stevens, A.: Redesigning Highway Infrastructure Systems for Connected Autonomous Truck Lanes, *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 148(12), 2022.

- [14] 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*, 22, 2, pp. 230 - 243, 2021, doi: 10.2478/ttj-2021-0018
- [15] Čudina Ivančev, A., Dragčević, V.: Utjecaj autonomnih vozila na odabir projektnih elemenata autocesta, 8. Simpozij doktorskog studija građevinarstva, Zagreb, pp. 235 - 245 , 2022, doi: 10.5592/CO/PhDSym.2022.19
- [16] Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), FGSV, 2008.
- [17] Knoten, Kreuzungsfreie Knoten, SN 640 261, Schweizer Norm, 1998.
- [18] 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, doi: 10.3390/su132313403.