

## Autonomna vozila - izvesna budućnost, neizvesni troškovi i koristi

Miroslav Milošev<sup>a</sup>, Draženko Glavić<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

### PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.65.02.03

Stručni rad

Primljen: 20/03/2019

Prihvaćen: 01/06/2019

\*Korespondent autor:

miroslavmilosev882@yahoo.com

*Ključne reči:*

Autonomna vozila

Cost-benefit analiza

Troškovi

### REZIME

Autonomna vozila su koncept koji se razvija i koji će gotovo sigurno stupiti na tržište u narednim decenijama. Pretpostavlja se da bi ove tehnologije uticale na poboljšanje eksploatacionih karakteristika puteva, ali i smanjenje troškova korisnika - kako operativnih, tako i vremenski zavisnih. Smanjenje potrošnje goriva, cene osiguranja, veća nabavna cena samo su neke od troškova i koristi koje mogu nastati. U ovom radu je predstavljeno nekoliko inostranih istraživanja u kojima su analizirani troškovi autonomnih vozila.

## 1. Uvod

Tokom svog, vek i po dugog, postojanja, automobilska industrija je doživela mnoge promene i inovacije. Od motora sa unutrašnjim sagorevanjem, preko automatskih prenosnika snage do GPS navigacije i ostale opreme. U skladu sa tim, bilo je potrebno neprestano vršiti istraživanja o njihovoj efikasnosti, bezbednosti, neophodnosti i proboju na tržište. Poslednju deceniju, u svetu, se pominje koncept autonomnih, automatizovanih, odnosno samoupravljujućih vozila, kao koncept koji bi mogao u budućnosti da preuzme vodeću ulogu i izmeni način života.

Jedan od bitnih faktora koji utiču na to da li će i kojom brzinom neka inovacija biti prihvaćena od strane korisnika je odnos troškova i koristi prilikom njene implementacije i primene. Trenutno je cena automobila koji poseduju tehnologije, koje omogućavaju da vozač ne upravlja vozilom, veća u odnosu na konvencionalna vozila. Neki luksurniji modeli poseduju autopilot opciju koja predstavlja određeni stepen autonomnosti, a kompanija Google za potrebe projekta Google Street View koristi autonomno vozilo.

Koliko će zaista koštati autonomna vozila i kakve će promene doneti po pitanju veličine i strukture troškova, još uvek se ne zna sa sigurnošću.

U ovom radu će biti predstavljeno nekoliko inostranih istraživanja u kojima su najviše analizirani i kvantifikovani operativni troškovi i gde su date procene kada bi autonomna vozila stupila na tržište.

Vud i ostali navode da reč "automatizovano" znači kontrolisano ili upravljano od strane mašine, dok "autonomno" znači delovati samostalno ili nezavisno (S. P. Wood et al., 2012). U istom istraživanju se navodi da se u većini koncepata vozila nalazi osoba na vozačevom mestu, da ona koriste veze sa serverom ili drugim vozilima, i ne biraju nezavisno ni destinacije, ni rute po kojima će ići, pa bi reč "automatizovan" bolje opisao ovaj koncept. Ipak, u upotrebi je više termin "autonomno vozilo".

Automatizovane navigacione tehnologije uključuju bilo koju kombinaciju od (1) samoupravljujućih navigacionih sistema koji primaju informacije senzora na vozilu (autonomna vozila), vozilo - vozilo (V2V) komunikacija i (2) vozilo - infrastruktura (V2I) komunikacioni sistemi koji informišu aplikacije za navigaciju i izbegavanje sudara (povezana vozila) (Daziano et al., 2016)

Ovaj citat, kao i prethodni, ukazuje da se autonomna vozila kreću pomoću ugrađenih senzora, dok se automatizovana vozila povezuju i komuniciraju sa drugim objektima.

Na sličan način je podelu izvršila i Uprava za transport u Pensilvaniji, SAD, gde se navodi da autonomna vozila ne moraju nužno da komuniciraju sa ostalim vozilima i da u nekim ili svim aspektima mogu da se kreću bez direktnog učešća vozača (Hendrickson et al., 2014). U tabeli 1 su prikazani opšteprihvaćeni nivoi autonomnih vozila.

Litman je naveo određene usluge i opremu, koju će autonomna vozila zahtevati, a koja bi mogla da poveća kupovnu cenu tih vozila za nekoliko hiljada dolara i troškove godišnjeg održavanja za nekoliko stotina dolara (Litman 2019).

- Senzori (optički, infrared, radar, laser itd.)
- Automatska kontrola (upravljanje, kočenje, signali itd.)
- Softver, serveri, napajanje
- Bežične mreže, V2V komunikacija kratkog dometa i pristup mapama dugog dometa, unapređenje softvera (upgrade) i izveštaji o putevima

- Navigacija - GPS sistemi i posebne mape visokog kvaliteta
- Testiranje i održavanje kritičnih (ključnih) komponenti

## 2. Pregled literature

Iskustva sa prethodnim inovacijama, kao što su automatski menjači i vazdušni jastuci, govore da će mogućnost autonomnog upravljanja u početku biti dostupna samo kod skupljih modela i da će biti potrebna jedna do tri decenije da se ova mogućnost uvrsti i u vozila srednjih i niskih cena (Litman, 2019). Litman u svom radu ističe da bi autonomna vozila, zbog svoje tehnologije, bila skuplja od neautonomnih vozila. Takođe navodi da bi ovakva vozila mogla negativno da utiču na zagađenje i zagušenje usled povećanja broja putovanja ili ako se striktno pridržavaju saobraćajnih propisa u gradu. Interne i eksterne koristi i troškovi su prikazani u tabeli 2.

**Tabela 1** SAE nivoi autonomnosti vozila (Izvor: <https://www.sae.org>)

	SAE Nivo 0	SAE Nivo 1	SAE Nivo 2	SAE Nivo 3	SAE Nivo 4	SAE Nivo 5
Uloga vozača	Vozač vozi kadgod su ove karakteristike za pomoć vozaču angažovane - čak i kada vozačeva stopala nisu na pedalama i ne upravlja			Vozač ne vozi kada su ove karakteristike primenjene		
	Vozač mora konstatno da nadgleda: mora da upravlja, usporava ili ubrжава po potrebi kako bi održao nivo bezbednosti			Kada karakteristika zahteva Osoba mora da vozi	Ove karakteristike neće zahtevati od osobe da preuzme upravljanje	
	Ovo su odlike sistema za pomoć vozaču			Ovo su odlike automatskog upravljanja		
Karakteristike	Ove karakteristike su ograničene na pružanje uozorenja i trenutne pomoći	Ove karakteristike pružaju pomoć u vidu upravljanja ILI kočenja/ubržavanja	Ove karakteristike pružaju pomoć u vidu upravljanja I kočenja/ubržavanja	Ove karakteristike mogu da upravljaju vozilom pod ograničenim uslovima i neće upravljati, ako svi uslovi nisu ispunjeni		Ove karakteristike mogu da upravljaju vozilom u svim uslovima
Primeri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• automatsko kočenje u slučaju nužde</li> <li>• upozorenje o mrtvom uglu</li> <li>• upozorenje o napuštanju saobraćajne trake</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zadržavanje u traci ILI</li> <li>• adaptivni tempomat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zadržavanje u traci I</li> <li>• adaptivni tempomat u isto vreme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• upravljanje u slučaju saobraćajnog zagušenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lokalni taksi bez vozača</li> <li>• pedale i točak upravlj ne moraju da postoje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• isto kao i kod nivoa 4, ali mogu da voze svuda pod bilo kojim uslovima</li> </ul>

**Tabela 2** Koristi i troškovi autonomnih vozila (Izvor: Litman, 2019)

Koristi	Troškovi/Problemi
<p><b>Interni (utiču na korisnika)</b></p> <p>Smanjen stres i povećana produktivnost kod vozača. Vozači mogu da se odmoraju, igraju ili rade dok putuju.</p> <p>Nevozačima je omogućena mobilnost. Više nezavisna mobilnost za nevozače može da smanji obavezu vozača da ih prevoze i subvencije za prevoz.</p> <p>Smanjeni troškovi plaćanja vozača. Smanjuje troškove za taksi i za profesionalne vozače.</p>	<p>Povećani troškovi vozila. Zahteva dodatnu opremu na vozilima.</p> <p>Dodatni rizici za korisnike. Nezgode uzrokovane otkazom sistema, vožnjom u plotunu vozila, većim brzinama, dodatno preuzimanje rizika i povećanim brojem pređenih kilometara.</p>
<p><b>Eksterni (utiču na druge)</b></p> <p>Povećava bezbednost. Može da smanji rizike od nezgoda i troškove osiguranja. Može da smanji visokorizičnu vožnju.</p> <p>Povećan kapacitet puteva i smanjeni troškovi. Efikasniji saobraćaj može da smanji zagušenja i troškove puteva.</p> <p>Smanjeni troškovi parkiranja. Smanjeni zahtevi za parkiranjem na samom cilju putovanja.</p> <p>Smanjena potrošnja energije i zagađenje. Može da poboljša potrošnju goriva i smanju emisiju.</p> <p>Podržava deljenje vozila. Može da olakša sistem deljenih vozila i sistem deljenih vožnji, tako smanjujući ukupan broj privatnih vozila i putovanja, i troškove u vezi sa tim.</p>	<p>Dodatni rizici. Može da poveća rizik korisnika na putevima i može da bude korišćen za kriminalne aktivnosti.</p> <p>Povećani problemi u saobraćaju. Povećan broj putovanja vozilom može da poveća zagušenja i zagađenje.</p> <p>Pitanje socijalne jednakosti. Može da smanji dostupne vidove poput pešačenja, bicikliranja i transportnih usluga.</p> <p>Manje zaposlenih.</p> <p>Može ba bude manje poslova za vozače.</p> <p>Povećani troškovi infrastrukture. Može da zahteva standarde u projektovanju i održavanju puteva.</p> <p>Manje podrške za druga rešenja. Optimistične prognoze o autonomnim vozilima mogu da obeshrabre druge transportna poboljšanja i strategije upravljanja.</p>

Kada se govori o ITS-u (inteligentni transportni sistemi), poput V2V komunikacije, sistema za kontrolu napuštanja trake i sl., najpre se misli na povećanje kapaciteta saobraćajnice i smanjenja troškova goriva usled manjeg rastojanja sleđenja.

Stivens i ostali su u svom istraživanju naveli sledeće osobine autonomnih vozila koje mogu da utiču na potrošnju goriva i energije uopšte (Stephens et al., 2016):

- Način vožnje
- Brže putovanje
- Vozilo ka infrastrukturi (V2I)/infrastruktura ka vozilu(I2V) komunikacija na raskrscima
- Izbegavanje sudara
- Vožnja u plotunu vozila
- Promena veličine vozila

Jedino bi brže putovanje uslovalo i veću potrošnju goriva, od 10% do 40%. Uticaj sistema za izbegavanje sudara je objašnjen smanjenjem broja zagušenja u saobraćaju usled saobraćajnih nezgoda.

Pozivajući se na druga istraživanja, poput (Wadud et al., 2016), Stivens i ostali navode da postoji potencijal da se smanji težina autonomnih vozila, a da njihova bezbednost ostane ista.

Smanjenje težine vozila bi uticalo na smanjenje potrošnje goriva do 50%. Kod potpuno automatizovanih vozila troškovi goriva bi mogli da se smanje za 13.4% - 76.7%, troškovi osiguranja za 40% do 80%, a troškovi vremena putovanja za 50% do 80% (Stephens et al., 2016).

Još jedan bitan segment koji su Stivens i ostali ispitivali je uticaj autonomnih vozila na transportne zahteve. Tako tehnologije koje poseduju autonomna vozila mogu smanjiti vreme traženja slobodnog parking mesta, što utiče na smanjenje ukupnog putovanja, ili mogu povećati broj putovanja dela populacije čije transportne potrebe nisu zadovoljene. Sve ukupno, prema njihovom istraživanju, auotomna vozila bi trebalo da povećaju ukupan broj putovanja u odnosu na neautonomna vozila.

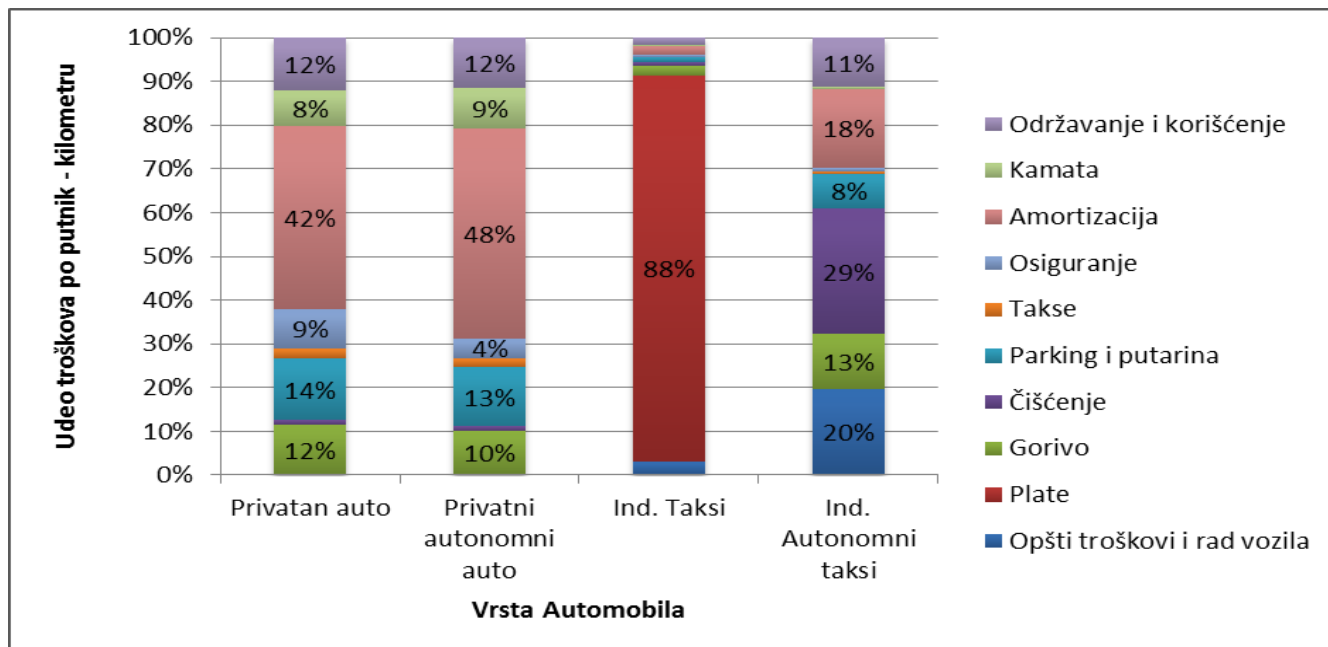
U jednom istraživanju u Americi, ispitanici u anketi koji su odgovorili da bi kupili autonomno vozilo u narednih deset godina su istakli manju cenu osiguranja i veću bezbednost kod ovakvih vozila (Mosquet et al., 2015). Njihova analiza ukazuje da bi tehnologija autonomnih vozila mogla da proizvede uštedu od \$2300 kod eksploatacionih troškova vozila kroz četiri godine, smanjenim potrošnje goriva za 15% i cene osiguranja za 30%.

Bösch i ostali, u istraživanju u Švajcarskoj, su kvantifikovali većinu operativnih i vremenski zavisnih troškova za privatno i taksi vozilo (Bösch et al., 2018). Oni su došli do rezultata da ukupni troškovi privatnih vozila ostaju gotovo isti, dok se troškovi taksi vozila, zbog toga što ne postoji trošak plate vozača, znatno smanjuju. U tabeli 3 i na slici 1 je prikazana struktura ovih troškova.

**Tabela 3** Poređenje strukture troškova autonomnih i konvencionalnih vozila za privatna i taksi vozila (Izvor: Bösch et al., 2015)

Troškovi <sup>1</sup>	Privatan auto	Privatni autonomni auto	Ind. Taksi	Ind. Autonomni taksi
Opšti troškovi i rad vozila	-	-	0.083	0.080
Plate	-	-	2.409	-
Gorivo	0.056	0.051	0.057	0.051
Čišćenje	0.005	0.005	0.026	0.117
Parking i putarina	0.068	0.068	0.033	0.032
Takse	0.011	0.011	0.002	0.002
Osiguranje	0.044	0.022	0.008	0.004
Amortizacija	0.203	0.243	0.061	0.073
Kamata	0.039	0.046	0.002	0.002
Održavanje i korišćenje	0.059	0.058	0.047	0.046
<b>Ukupno</b>	<b>0.485</b>	<b>0.504</b>	<b>2.728</b>	<b>0.407</b>

**Slika 1** Poređenje strukture troškova (Izvor: Bösch et al., 2015)



<sup>1</sup> Troškovi po putnik - kilometru u švajcarskim francima (CHF)

### 3. Diskusija i zaključak

U tabeli 4 je dato poređenje troškova neautonomnih i autonomnih privatnih automobila na osnovu podataka iz tabele 3.

**Tabela 4** Prikaz razlike troškova neautonomnog i autonomnog automobila iz Tabele 3

Trošak	Privatan auto	Privatni autonomni auto	Povećanje cene	Udeo (%)
Gorivo	0.056	0.051	-0.005	8.93
Čišćenje	0.005	0.005	0.000	0.00
Parking i putarina	0.068	0.068	0.000	0.00
Takse	0.011	0.011	0.000	0.00
Osiguranje	0.044	0.022	-0.022	50.00
Amortizacija	0.203	0.243	0.040	19.70
Kamata	0.039	0.046	0.007	17.95
Održavanje i korišćenje	0.059	0.058	-0.001	1.69
<b>Ukupno</b>	<b>0.485</b>	<b>0.504</b>	<b>0.019</b>	<b>3.92</b>

Na osnovu tabele 4 je moguće videti da se najviše smanjuju troškovi osiguranja, za 50%. Troškovi goriva bi bili veći za 9%, a troškovi kamate za 18%. Ovi rezultati se uglavnom podudaraju sa rezultatima i pretpostavkama iz prethodno navedenih istraživanja. Pregledom literature se može ustanoviti da sa aspekta korisnika, tehnologije autonomnih vozila neće smanjiti troškove putničkog automobila. Naprotiv, troškovi će se povećati, a kada se u tu cenu uračuna i nabavna cena vozila koja je veća za \$10 000 (Stephens et al., 2016; Mosquet et al., 2015) u odnosu na konvencionalno vozilo, autonomna vozila postaju znatno skuplja. Kakav je globalan uticaj ovih tehnologija, na uslove u saobraćajnom toku i ukupne društvene troškove nije preciznije naznačeno.

Nije poznato ni kakvu bi ulogu autonomna vozila mogla da imaju kada je reč o naplati putarine, imajući u vidu da neadekvatan izbor naplate putarine može dovesti do ekonomskih, ekoloških i drugih problema (Glavić et al., 2017).

U radu je predstavljen samo uticaj autonomnih vozila na potrošnju konvencionalnog goriva. Alternativna goriva, poput vodoničnih gorivih ćelija i električnih automobila mogu značajno uticati na smanjenje emisije štetnih gasova (Stepanović, et al., 2017). Kako će se

tehnologija autonomnih vozila i tehnologija alternativnih goriva dalje razvijati, biće potrebno detaljnije utvrditi njihov uticaj i međusobnu povezanost.

Moguće je primetiti i da su rezultati dati u velikom rasponu i da je teško reći koja bi vrednost bila reporna. Takođe rezultati zavise od doba dana (vršni i vanvršni period), deonice (put ili ulice), vrste vozila i mnogih drugih faktora.

U ovoj fazi, konkretne vrednosti troškova potpuno autonomnih vozila nisu moguće sa obzirom da ona još uvek ne postoje. Predviđa se da bi nivo 4 autonomnosti, u Americi, mogao biti prihvaćen između 25% i 87% u 2045. godini (Bansal i Kokelman, 2016). Prema tome, u narednim godinama će biti moguća detaljnija analiza finansijskih i društveno-ekonomskih koristi i troškova autonomnih vozila.

### Autonomous vehicles - a certain future, uncertain costs and benefits

Miroslav Milošev, student  
Draženko Glavić, Ph.D. TE

*University of Belgrade, The Faculty of Transport and Traffic Engineering*

**Abstract:** Autonomous vehicles are the concept which is being developed and which will certainly enter the market in the following decades. It is assumed that these technologies would improve road exploitation parameters and reduce consumers' costs - both operating and time - related costs. Reduction in fuel consumption and insurance price, higher purchase price are only some of costs which could occur. The purpose of this paper is to present a few international research projects on autonomous vehicles costs.

**Key words:** autonomous vehicles, cost - benefit analysis, costs

## Literatura

- [1] Wood, S. P., Chang, J., Healy, T., & Wood, J. (2012). The potential regulatory challenges of increasingly autonomous motor vehicles. *Santa Clara L. Rev.*, 52, 1423.
- [2] Daziano, R. A., Sarrias, M., & Leard, B. (2017). Are consumers willing to pay to let cars drive for them? Analyzing response to autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 150-164.
- [3] Hendrickson, C., Biehler, A., & Mashayekh, Y. (2014). *Connected and autonomous vehicles 2040 vision*. Harrisburg, PA: Pennsylvania Department of Transportation.
- [4] Litman, T. (2015). *Autonomous vehicle implementation predictions: Implications for transport planning* (No. 15-3326).
- [5] Stephens, T. S., Gonder, J., Chen, Y., Lin, Z., Liu, C., & Gohlke, D. (2016). *Estimated bounds and important factors for fuel use and consumer costs of connected and automated vehicles* (No. NREL/TP-5400-67216). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- [6] Wadud, Z., D. MacKenzie, and P. Leiby. (2016). "Help or Hindrance? The Travel, Energy and Carbon Impacts of Highly Automated Vehicles." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* , 86: 1-18
- [7] Mosquet, X., Dauner, T., Lang, N., Rubmann, N., Mei-Pochtler, A., Agrawal, R., & Schmieg, F. (2015). *Revolution in the driver's seat: The road to autonomous vehicles*. Boston Consulting Group, 11.
- [8] Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018). *Cost-based analysis of autonomous mobility services*. *Transport Policy*, 64, 76-91.
- [9] Glavić, D., Milenković, M., Trpković, A., Vidas, M., & Mladenović, M. N. (2017). *Assessing sustainability of road tolling technologies*. In *International congress on transport infrastructure and systems*, Rome.
- [10] Stepanović, N., & Tubić, V. (2017). *Alternative fuel vehicle as the technology for reduction of negative transport influence on the environment*. *Put i saobraćaj*, 63(3), 57-65.
- [11] Bansal, P., & Kockelman, K. M. (2017). *Forecasting Americans' long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 49-63.