

Original Scientific paper
Originalni naučni rad
DOI:10.5937/POLJTEH2503094V

INTEGRISANI MODEL ZA PROCENU ODRŽIVOSTI BEZBEDNOSTI KRETANJA TRAKTORA U JAVNOM SAOBRAĆAJU REPUBLIKE SRBIJE

**Dorđe Vranješ^{*1}, Branka Bursać Vranješ¹, Goran Tričković²,
Željko Petrić³, Zdravko Tarlać¹**

¹*Institut BIT, Patrijarha Pavla 8, 22304 Novi Banovci, Republika Srbija*

²*Akademija tehničko-umetničkih strukovnih Beograd, Univerzitet u Beogradu
Starine Novaka 24, Republika Srbija*

³*Univerzitet Privredna akademija, Brčko Distrikt BiH, Petra Kočića 6,
Brčko Distrikt, Bosna i Hercegovina*

Sažetak: Traktori predstavljaju značajnu kategoriju učesnika u saobraćaju. Pored toga, oni su ključni faktor u svakodnevnom radu i razvoju poljoprivrednih aktivnosti u celom svetu. Tokom obavljanja svojih radnih aktivnosti traktori su svakodnevno prisutni na javnim i atarskim putevima. U vezi sa tim, traktori su značajno prisutni u saobraćajnim nezgodama na putevima i nesrećnim događajima koji se dešavaju van javnih puteva. Posledica navedenih nezgoda i nesrećnih događaja veoma su velike. Do sada je urađen veliki broj studija i istraživanja koje su analizirale način stradanja traktora u saobraćaju. Identifikovani su neki od ključnih faktora koji su povezani sa nastankom i posledicama tih nezgoda. U radu su postavljene dve radne hipoteze za istraživanje i testiranje. Kao prilog tim istraživanjima kreiran je model koji je analizirao uticaj, većeg broja registrovanih traktora u odnosu na broj registrovanih poljoprivrednih gazdinstava, na nastanak nezgoda sa učešćem traktora i posledica po opštinama u Republici Srbiji. Ovim modelom izvršeno je ispitivanje doprinosa nezavisnih promenljivih (broj registrovanih traktora i broja poljoprivrednih gazdinstava po opštinama) u zavisnoj promenljivoj koja je obuhvatila ukupan broj saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora. Korišćenjem statističkih podataka i primenom standardne višestruke regresione analize u Programskom statističkom paketu SPSS25 utvrđena je zavisnost promenljivih u istraživanju.

Zaključeno je da broj registrovanih vozila ima različit uticaj od broja registrovanih gazdinstava i da zastupljenost broja vozila u ukupnom broju gazdinstava ima različit uticaj na posledice saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora.

^{*}Corresponding Author. Email address: djordjevranches@yahoo.com

ORCID number: 0000-0003-4553-8827

Ključne reči: Traktori, bezbednost saobraćaja, saobraćajne nezgode.

UVOD

Učešće traktora u saobraćajnim nezgodama i njihove posledice predstavljaju problem koji je u velikom porastu poslednjih godina [3]. Veliki broj dosadašnjih studija [6], [7], [8] koje su istraživale bezbednost traktora u saobraćaju došle su do zaključka da nedostaju pouzdane baze podataka o učešću traktora u saobraćajnim nezgodama. Istraživanja su takođe identifikovala veliki broj neslaganja u terminologiji i načinima prikupljanja i obrade podataka o predmetnim nezgodama [2]. Traktori su po Zakonu o bezbednosti saobraćaja na putevima od 2010. godine definisani kao motorno vozilo koje ima najmanje dve osovine i koje je prvenstveno namenjeno za vučenje, guranje, nošenje ili pogon izmenjivih priključaka za izvođenje prvenstveno poljoprivrednih, šumskih ili drugih radova i za vuču priključnih vozila za traktor. Kada se sagledaju međunarodna iskustva, može se zaključiti da se u Zakonima, podzakonskim aktima i drugim normativnim i statističkim dokumentima traktori različito definišu i kategorišu, što sa aspekta analize stanja bezbednosti saobraćaja predstavlja značajan problem kod poređenja indikatora bezbednosti saobraćaja na međunarodnom nivou [5].

Jedan od najvećih uzroka nastanka saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora predstavlja upravo njegovo prevrtanje [1].

Takođe, jedan od dominantnih uzroka stradanja traktora često je povezan sa stanjem njegove tehničke ispravnosti [13], [14], [25].

Postoje istraživanja [10], [11], [16], u kojima se došlo do zaključka, koji se odnosi na to da su traktori na putevima zastupljeni u veoma malom obimu u strukturi saobraćajnog toka, ali su njihove posledice u poređenju sa drugim učesnicima u saobraćaju značajno veće kada se uzme u obzir procentualna zastupljenost. Suštinski traktori i nisu projektovani da se kreću po javnim putevima, već prvenstveno po njivama [15], [26], [27].

Danas su lokacije njiva od sedišta poljoprivrednih gazdinstava prilično udaljene. Tome doprinosi izmeštanje sedišta poljoprivrednih gazdinstava iz urbanih područja [4] i to da zbog veličina njihov pristup je jedino moguć korišćenjem javnih puteva [9]. Najviše nezgoda se događa van naseljenih mesta gde se traktori najčešće kreću po lokalnim putevima [24], [25], [27].

U ovom radu prikazano je istraživanje koje se odnosi na analizu broja registrovanih traktora i ukupnog broja poljoprivrednih gazdinstava po opštinama u Republici Srbiji i njihov doprinos nastaku saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora.

METODE ISTRAŽIVANJA

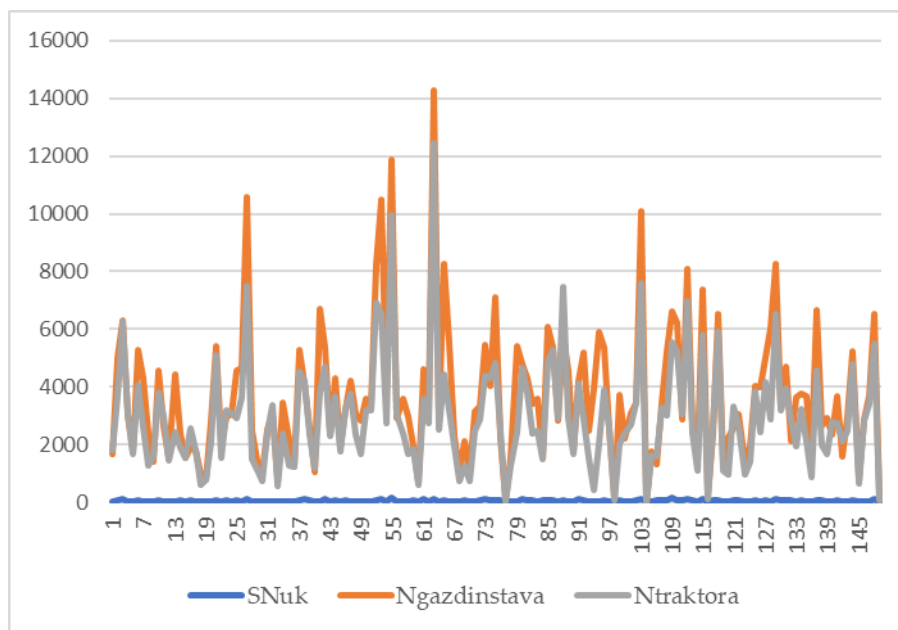
Rezultati istraživanja pokazuju da su nesreće sa mobilnom poljoprivrednom mehanizacijom u Republici Srbiji veoma česta pojava [24], [25].

Na području Republike Srbije u toku 2022. godine ukupno je registrovano 543.374 poljoprivrednih gazdinstava [20]. U istoj godini registrovano je ukupno 437.663 traktora. Dakle, zastupljenost traktora u 2022. godini je iznosila 0,8 traktora po gazdinstvu.

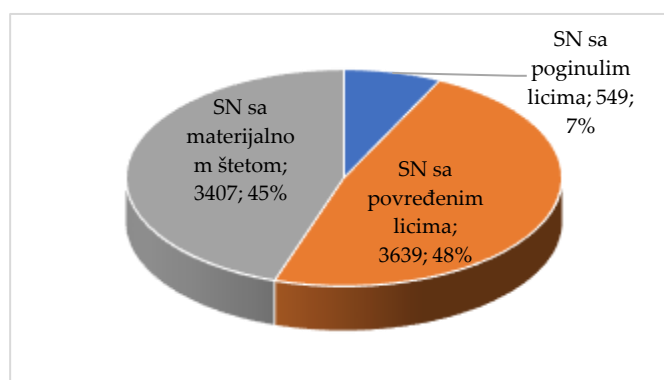
Uporedni prikaz ukupnog broja registrovanih traktora (N-traktora) ukupnog broja registrovanih gazdinstava (N-gazdinstava) i ukupnog broja saobraćajnih nezgoda za period 2010-2022. godine (SN-ukupno) prikazan je na slici 1.

U periodu od 2010. do 2022. godine na putevima u Republici Srbiji dogodilo se ukupno 7.595 saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora. Kao što je prikazano na slici 2 od ukupnog broja 7,3% (549) su nezgode sa poginulim licima, 47,9% (3.639) nezgoda sa povređenim licima i 44,8% (3.407) nezgoda sa materijalnom štetom [19].

Saobraćajne nezgode sa učešćem traktora čine 7,8% od ukupnog broja svih nezgoda sa poginulim licima u Republici Srbiji u posmatranom periodu 2010-2022 godine. Isto tako, nezgode sa povređenim licima gde su učestvovali traktori čine 4,4% od ukupnog broja svih nezgoda sa povređenim licima.



Grafik. 1. Uporedni statistički prikaz SN-ukupno, N-gazdinstava i N-traktora, [19], [20], [21].



Grafik. 2. Zastupljenost posledica saobraćajnih nezgoda u ukupnom broju za period 2010-2022. godine, [19].

Definisanje osnovnih hipoteza istraživanja

Postavljene su dve ključne hipoteze:

-H1-ukupan broj registrovanih traktora i ukupan broj registrovanih gazdinstava imaju različiti uticaj na zavisnu promenljivu koja se odnosi na ukupan broj saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora.

-H2-zastupljenost traktora u ukupnom broju gazdinstava ima različiti uticaj na posledice saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora.

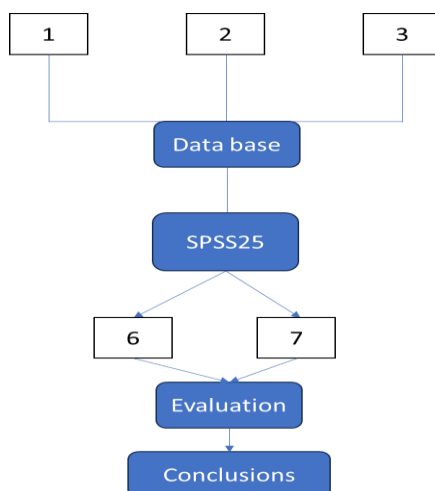
Istraživački model

Za potrebe realizacije istraživanja u ovom radu kreiran je istraživački model prikazan na grafiku 3. Predmetni model je kompleksan i obuhvata različite podatke. Na prvom mestu pod poljem 1 uzeti su statistički podaci o saobraćajnim nezgodama koji se vode kod Agencije za bezbednost saobraćaja Republike Srbije [19]. To su prvenstveno sledeći podaci

- Ukupan broj saobraćajnih nezgoda (Broj SNtr).
- Ukupan broj nezgoda sa poginulima (SN-pog).
- Ukupan broj nezgoda sa materijalnom štetom (SN-mš).
- Ukupan broj nezgoda sa povređenima (SN-pov).

Na drugom mestu pod poljem 2 uzeti su statistički podaci o ukupnom broju registrovanih traktora po opštinama u Republici Srbiji u toku 2022 godine. Predmetni podaci su uzeti iz izveštaja Republičkog zavoda za statistiku.

Na trećem mestu u polju 3 uzeti su statistički podaci o ukupnom broju registrovanih poljoprivrednih gazdinstava koji se vode na portalu otvorenih podataka [20].



Grafik 3. Istraživački model za analizu podataka

Izvor: Model autora

Svi prethodno navedeni podaci iz polja 1, 2 i 3 su posebna baza podataka. Nakog toga, podaci se eksportuju u program SPSS25.

SPSS25 je statistički paket koji služi za prikupljanje, uređivanje i čuvanje podataka, izvođenje različitih statističkih analiza (deskriptivna statistika, testiranje hipoteza, regresione i korelacione analize, faktorska analiza, ANOVA, multivarijantne tehnike itd.), vizuelizaciju podataka kroz grafikone i tabele, prediktivne analize i modelovanje.

U nastavku se vrši kodiranje podataka i njihova obrada pomoću dve istraživačke tehnike [12].

U polju 6 podaci se analiziraju pomoću Pirsonovog koeficijenta korelacije kako bi se utvrdila statistička povezanost između promenljivih:

- Količnik ukupnog broj registrovanih traktora i ukupnog broja poljoprivrednih gazdinstava po opštinama u Srbiji (KRTG, K – količnik, R – registrovani traktori, T – traktori, G – gazdinstava).

- Ukupan broj nezgoda sa poginulima (SN-pog).
- Ukupan broj nezgoda sa materijalnom štetom (SN-mš).
- Ukupan broj nezgoda sa povređenima (SN-pov).

U polju 7 vrši se analiza podataka pomoću standardne višestruke regresije. Kao zavisna promenljiva uzet je ukupan broj nezgoda sa učešćem traktora (brojSNtr). Kao neprekidne nezavisne promenljive uzete su:

- Ukupan broj registrovanih traktora (Ntraktora)
- Ukupan broj poljoprivrednih gazdinstava (Ngazdinstava).

Osnovni cilj analize podataka u ovom polju odnosio se na to da se utvrdi koliko deo varijanse zavisne promenljive je objašnjen varijansom nezavisnih promenljivih. Takođe, cilj se odnosi na utvrđivanje relativnog doprinosa svake nezavisne promenljive i utvrđivanje statističke značajnosti celokupnog modela.

Na osnovu dobijenih rezultata iz polja 6 i 7 vrši se evaluacija dobijenih vrednosti. Na kraju u vezi sa svim dobijenim rezultatima donose se zaključci i predlog mera.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Posle dobijenih rezultata analize podataka o saobraćajnim nezgodama sa učešćem traktora u ovom delu izvršice se tumačenje podataka koji su selektovani u polju 6 i 7 istraživačkog modela.

Pirsonov koeficijent korelacije se tumači na sledeći način:

$r \in [-1, 1]$: znak (+/-) daje smer veze, apsolutna vrednost snagu veze.

Orijentiri za jačinu (grubo): 0.00–0.19 vrlo slabo, 0.20–0.39 slabo, 0.40–0.59 umereno, 0.60–0.79 jako, ≥ 0.80 veoma jako.

r^2 = procenat varijanse jedne promenljive koji je linearno objašnjen drugom.

Obradom podataka iz polja 6 dobijeni su rezultati Pirsonovog koeficijenta korelacije između promenljivih (KRTG, SN-pog, SN-pov i SN-mš) dati u tabeli 1. Na osnovu tih podataka zaključuje se da pozitivan smer korelacije između KRTG i SN-pov i SN-mš i negativan smer korelacije sa SN-pog, (SN-pog - broj poginulih, SN-pov - broj povređenih, SN-mš - nezgode sa materijalnom štetom).

Tabela 1. Rezultati Pirsonovog koeficijenta korelacije između promenljivih

		KRTG	SN-pog	SN-pov	SN-mš
KRTG	Pearson Correlation	1	-.019	.131	.276**
	Sig. (2-tailed)		.819	.114	.001
	N	148	148	148	148
SN-pog	Pearson Correlation	-.019	1	.557**	.326**
	Sig. (2-tailed)	.819		.000	.000
	N	148	149	149	149
SN-pov	Pearson Correlation	.131	.557**	1	.765**
	Sig. (2-tailed)	.114	.000		.000
	N	148	149	149	149
SN-mš	Pearson Correlation	.276**	.326**	.765**	1
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.000	
	N	148	149	149	149

Iz prikazanog se može zaključiti da intenzivnija opremljenost poljoprivrede mehanizacijom (veći broj traktora) ne znači nužno više teških posledica (povrede, smrt), ali znači više ukupnih nezgoda sa materijalnom štetom.

Najveća vrednost korelacije ($r = 0,276$, sig. 0,001) evidentirana je kod nezgoda samo sa materijalnom štetom, a najmanja negativna vrednost ($r = -0,019$, sig. 0,819) kod nezgoda sa poginulim licima. Kod saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima dobijena vrednost korelacije iznosi ($r = 0,131$, sig. 0,114).

U tabelama 2a-d dati su rezultati analize podataka primenom standardne višestruke regresione analize. Višestruka regresiona analiza je statistička tehnika koja se koristi kada želimo da ispitamo kako više nezavisnih promenljivih ($X_1, X_2, X_3 \dots$) zajedno utiču na jednu zavisnu promenljivu (Y).

Standardna (ili simultana) regresija znači da se sve nezavisne promenljive unose u model istovremeno, i na osnovu toga računa se doprinos svake od njih u objašnjenju zavisne promenljive.

R – višestruki koeficijent korelacije (snaga veze između Y i svih X zajedno).

R^2 – objašnjeni procenat varijanse Y pomoću X . Npr. $R^2 = 0,40 \rightarrow$ model objašnjava 40% varijanse zavisne promenljive.

Tabela 2a. prikazuje rezultate koeficijenta determinacije koji nam govori kolikim delom varijanse zavisne promenljive je objašnjen istraživački model. U ovom slučaju $r^2 = 0,676$ što govori da je 67,6% varijanse obuhvaćeno kod nastanka nezgoda sa učešćem vozača traktora. Čak je i korigovana vrednost koeficijenta približno jednaka i iznosi 0,670 kada se uzme u obzir veličina uzorka na kome je vršeno istraživanje.

Tabela 2a. Rezultati standardne višestruke regresije
Rezime modela^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.822 ^a	.676	.670	18.08991

U tabeli 2b ANOVA prikazan je segment rezultata koji vrednuje statističku značajnost pokazatelja iz tabele 2a. U tabeli su prikazani rezultati testova nulte hipoteze da je r^2 uzorku jednak nuli. Model u ovom slučaju dostiže statističku značajnost (Sig.=0,000), pa je p manje od 0,0005.

Model sa tri nezavisne promenljive značajno predviđa zavisnu promenljivu ($F(3,144) = 100,349$, $p < 0,001$).

Oko 67,6% ukupne varijanse je objašnjeno modelom, što pokazuje visoku prediktivnu snagu. To znači da nezavisne promenljive zajedno imaju vrlo jak i značajan uticaj na zavisnu promenljivu.

Tabela 2b. Rezultati standardne višestruke regresije – ANOVA

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	98515.882	3	32838.627	100.349	.000 ^b
	Residual	47123.268	144	327.245		
	Total	145639.150	147			

Kako bi se predvidelo koja od nezavisnih promenljivih najviše doprinosi predviđanju zavisne promenljive koristimo podatke iz tabele 2c. U koloni za standardne koeficijente potrebno je posmatrati koeficijent Beta. Poseban osvrt uzeli smo na najveći Beta koeficijent od 0,797 koja se odnosi na ukupan broj registrovanih traktora. Značajno manje je zastupljenja vrednost 0,018 koja se odnosi na broj gazdinstava. Na osnovu Beta koeficijenata i Sig. vrednosti može se reći da je N-traktora glavni prediktor u modelu i daje jedinstveni doprinos predikciji zavisne promenljive. Broj gazdinstava nema značajan doprinos i njegova uloga u modelu je minimalna.

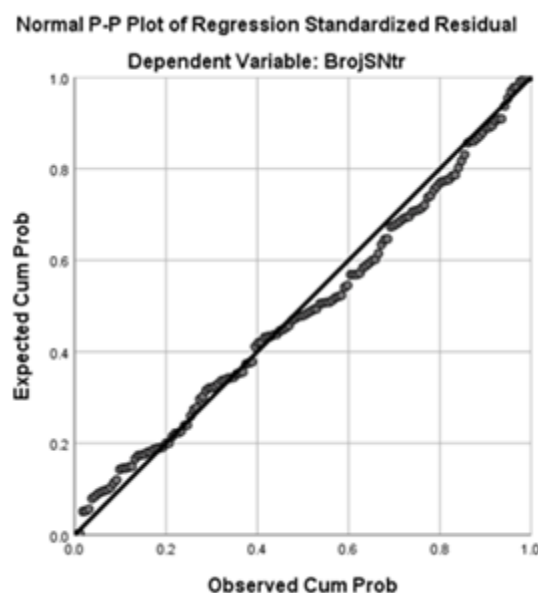
Tabela 2c. Rezultati standardne višestruke regresije-Coefficients

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	
Model		B	Std. Error	Beta	t
1	(Constant)	6.348	11.683		.543
	N-traktora	.013	.004	.797	3.436
	N-gazdinstava	.000	.003	.018	.079
	KRTG	6.147	13.784	.041	.446
					Sig.
					.588
					.001
					.937
					.656

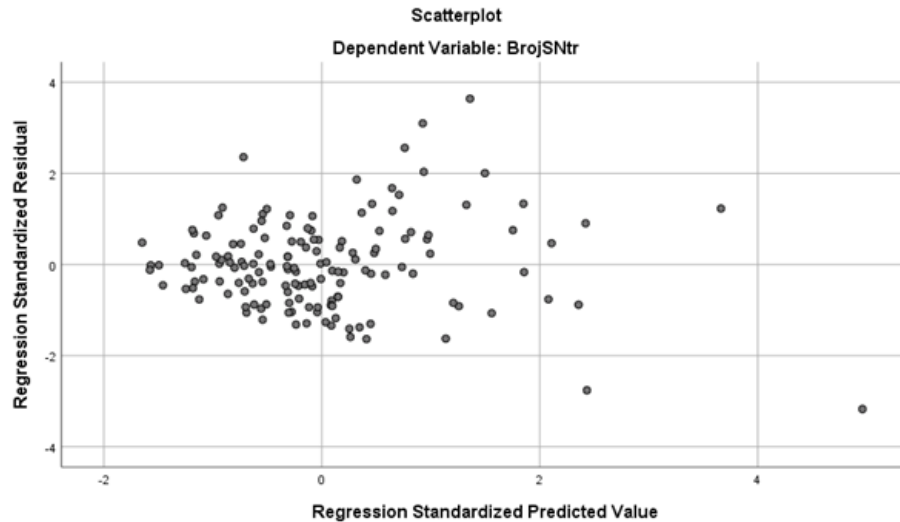
Kao jedan od dodatnog načina za proveru definisanih pretpostavki izrađen su dijagrami u softverskom paketu za statističku analizu podataka (SPSS) i prikazani na slici 2 i 3. Dijagram koji je prikazan nosi naziv Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual i odnosi se na zavisnu varijablu označenu kao BrojSNtr.

Na dijagramu se porede posmatrane kumulativne verovatnoće sa očekivanim kumulativnim verovatnoćama kako bi se utvrdilo da li reziduali regresionog modela prate normalnu raspodelu. Na horizontalnoj osi prikazane su posmatrane kumulativne verovatnoće, dok je na vertikalnoj osi prikazana očekivana kumulativna verovatnoća. Obe ose su skalirane u intervalu od 0 do 1. Dijagonala koja prolazi od tačke (0,0) do tačke (1,1) označava idealnu situaciju kada posmatrane i očekivane vrednosti u potpunosti odgovaraju jedna drugoj. Svaka tačka na dijagramu predstavlja standardizovani rezidual, odnosno razliku između posmatrane i predviđene vrednosti, prilagođenu na sredinu nula i standardnu devijaciju jedan.

U ovom slučaju, većina tačaka se nalazi vrlo blizu dijagonale, što ukazuje da reziduali u velikoj meri prate normalnu raspodelu. Manja odstupanja postoje na početku i kraju linije, što se može tumačiti kao uobičajeno blago odstupanje u repovima raspodele. Centralni deo dijagrama pokazuje skoro savršeno podudaranje posmatranih i očekivanih verovatnoća, pa se može zaključiti da nema značajne asimetrije u podacima. Time je pretpostavka o normalnosti reziduala u regresionom modelu uglavnom zadovoljena. To znači da se statistički testovi poput t-testa i F-testa mogu smatrati pouzdanim i da model može davati validne rezultate. U suštini, P-P Plot služi kao vizuelna potvrda normalnosti raspodele reziduala i u ovom slučaju pokazuje da su odstupanja minimalna i da je model adekvatno prilagođen.



Slika 2. Grafikon verovatnoće (P-P) regresije



Slika 3. Dijagram rasturanja reziduala

Dijagram (Slika 3.), jasno prikazuje raspored tačaka oko horizontalne ose koja predstavlja nultu vrednost standardizovanih reziduala. Većina tačaka nalazi se u intervalu između -2 i 2, što ukazuje na to da najveći deo reziduala nema ekstremna odstupanja. To znači da model uglavnom dobro predviđa vrednosti zavisne varijable. Međutim, primećuje se i nekoliko tačaka koje odstupaju iznad vrednosti 2 i ispod vrednosti -2, pa čak i do 4, što ukazuje na postojanje određenih outliera ili posmatranja sa neuobičajeno visokim greškama. Takve vrednosti mogu značajno uticati na model i zahtevaju pažljivije razmatranje. Ako su ti podaci rezultat greške u merenju ili unosu, trebalo bi ih proveriti, a ako su stvarne ekstremne vrednosti, onda predstavljaju važne informacije koje upućuju na specifične slučajeve.

Raspored tačaka na dijagramu nije potpuno slučajan. Uočen je određeni obrazac u kojem reziduali sa porastom predviđenih vrednosti pokazuju veću varijabilnost. U centralnom delu dijagrama, kada su predviđene vrednosti bliže nuli, reziduali su grupisani gušće i pokazuju manja odstupanja. Kako predviđene vrednosti rastu, primećuje se da reziduali postaju razulađeniji i da odstupanja rastu. Ovaj obrazac ukazuje na potencijalni problem heteroskedastičnosti, odnosno situacije kada varijansa reziduala nije konstantna duž skale predviđenih vrednosti. Kada postoji heteroskedastičnost, regresioni model gubi efikasnost jer standardne greške koeficijenata mogu biti pogrešno procenjene, što dovodi do nepouzdatih statističkih testova i zaključaka.

U dobro specificiranom regresionom modelu očekuje se da tačke na scatterplotu budu nasumično rasute oko horizontalne ose bez prepoznatljivog obrasca. Ako bi tačke formirale parabolican, linearni ili neki drugi vidljiv oblik, to bi ukazivalo da model nije dobro specificiran i da možda nedostaju neki prediktori ili da bi trebalo razmotriti transformaciju varijabli. U ovom slučaju, dijagram pokazuje određeno širenje oblaka tačaka kako se povećavaju predviđene vrednosti, što može sugerisati da zavisna varijabla nije u potpunosti linearno povezana sa nezavisnim varijablama.

Moguće je da bi neka transformacija zavisne varijable, na primer logaritamska, kvadratna ili kvadratni koren, poboljšala prilagođenost modela i obezbedila stabilniju varijansu reziduala.

Prisustvo nekoliko ekstremnih tačaka, posebno onih sa rezidualima većim od 3 ili manjim od -3, može ukazivati na uticajne posmatračke. Takvi posmatrači imaju disproporcionalan uticaj na procenu regresionih koeficijenata i mogu promeniti nagib ili intercept regresione linije. Da bi se procenilo da li su ove tačke zaista problematične, neophodno je analizirati dodatne statistike, poput Cookovog rastojanja ili Mahalanobisovih udaljenosti. Ako se potvrdi da su posmatranja zaista uticajna, treba doneti odluku da li ih treba zadržati u analizi kao reprezentativne ekstremne vrednosti ili ih ukloniti ukoliko predstavljaju grešku.

Važna pretpostavka regresione analize jeste normalna distribucija reziduala, što je delimično potvrđeno P-P plotom iz prethodnog dijagrama. Međutim, scatterplot pruža dodatnu potvrdu ili osporavanje pretpostavke o linearnosti i homogenosti varijanse. Ako reziduali rastu i opadaju u nekom pravilnom obrascu, to znači da model ne uspeva da u potpunosti uhvati vezu između zavisne i nezavisnih varijabli. U ovom slučaju, primećuje se blaga tendencija da se reziduali povećavaju kod viših predviđenih vrednosti, što može značiti da zavisna varijabla ima širu disperziju pri većim vrednostima. To je klasičan znak heteroskedastičnosti, koji bi mogao da se reši transformacijom podataka ili korišćenjem robusne regresije koja nije osetljiva na promenu varijanse.

Raspored tačaka u centralnom delu dijagrama daje prilično dobru sliku. Oko horizontalne linije nula primećuje se veliki broj tačaka, što znači da model za većinu posmatranja daje relativno tačne prognoze. To je pozitivan znak jer pokazuje da model funkcioniše dobro za tipične vrednosti podataka. Problemi se javljaju tek na ekstremima gde se vidi veća varijabilnost. To je uobičajena pojava u mnogim regresionim modelima, jer ekstremi uvek nose veći rizik od odstupanja. U statističkoj praksi, cilj je da se model optimizuje tako da dobro funkcioniše za većinu posmatranja, dok ekstremi zahtevaju posebnu interpretaciju i pažnju.

Jedna od ključnih funkcija scatterplota reziduala jeste otkrivanje eventualnih nelinearnosti. Ako bi se u ovom dijagramu uočio zakrivljen obrazac, recimo parabolični oblik oblaka tačaka, to bi bio dokaz da linearni model nije adekvatan i da bi trebalo uvesti polinomske ili interakcione termine u model. Ovde obrazac nije toliko jasan, ali postoji blagi trend povećanja raspona reziduala sa rastom predviđenih vrednosti, što može ukazivati na to da model ne objašnjava najbolje ponašanje zavisne varijable u višim intervalima. To ne znači da je model potpuno neupotrebljiv, već da se može dodatno unaprediti uključivanjem dodatnih prediktora ili transformacijom postojeće zavisne varijable.

Dijagram takođe pokazuje da je raspodela reziduala asimetrična. Naime, postoji više tačaka iznad nulte linije nego ispod, posebno u desnom delu grafikona. To može značiti da model ima tendenciju da potcenjuje stvarne vrednosti u višem rasponu zavisne varijable. Drugim rečima, kada su predviđene vrednosti veće, stvarne vrednosti imaju tendenciju da budu još veće nego što model predviđa. Ovo je važan uvid jer ukazuje na sistematsku grešku modela.

Ako se ovakav obrazac potvrdi, model bi mogao da se unapredi uvođenjem dodatnih varijabli koje bolje objašnjavaju ponašanje zavisne varijable u višem rasponu.

U praktičnoj primeni, ovakvi rezultati ukazuju analitičaru da iako model daje korektne rezultate za većinu posmatranja, on ipak ne uspeva da u potpunosti obuhvati sve varijacije u podacima. To može biti posledica izostavljenih varijabli, nelinearnih odnosa ili prisustva autokorelacije u podacima. Ako se model koristi u prediktivne svrhe, važno je imati u vidu da predikcije mogu biti manje pouzdane u ekstremnim vrednostima i da ih treba tumačiti s rezervom.

Zaključak koji se može izvesti iz ovog scatterplota jeste da model pokazuje relativno dobru stabilnost u centralnim vrednostima, ali pokazuje i znake heteroskedastičnosti i nekoliko outliera koji mogu uticati na tačnost procene. Za potpuniju potvrdu ovih nalaza treba uraditi dodatne testove poput Breusch-Paganovog testa za heteroskedastičnost ili Cookovog rastojanja za uticajne tačke. Ako se potvrdi prisustvo problema, mogu se primeniti odgovarajuće korekcije u modeliranju.

U suštini, scatterplot jasno pokazuje da model nije potpuno savršen, ali je funkcionalan za osnovne potrebe. Uz dodatne dorade, kao što su transformacija podataka ili dodavanje prediktora, njegova preciznost i stabilnost mogle bi se značajno poboljšati.

DISKUSIJA REZULTATA

Analizom podataka o saobraćajnim nezgodama sa učešćem traktora svakako se i za teritoriju Republike Srbije može zaključiti da je ovaj tip nezgoda značajno zastupljen. Ovakav zaključak se svakako poklapa sa rezultatima drugih istraživanja [3], [24], [25].

Po pitanju ažurnosti i dostupnosti baza podataka o saobraćajnim nezgodama sa učešćem traktora, za Republiku Srbiju može se definisati pozitivan zaključak i dostupnost podataka o nezgodama [19].

Terminologija kojom se definišu traktori u Republici Srbiji usklađena je sa važećim terminima na nivou EU [22]. Predmetna terminologija ugrađena je u skladu sa važećim Zakonom o bezbednosti saobraćaja na putevima i pratećim Pravilnicima.

Ukupan broj traktora u poljoprivrednim gazdinstvima nije na značajno velikom nivou. Međutim, kada smo tu zastupljenost postavili u korelaciju sa saobraćajnim nezgodama sa povređenim licima, saobraćajnim nezgodama sa materijalnom štetom i saobraćajnim nezgodama sa poginulim licima došlo se do zaključka da postoji različit uticaj na posledice saobraćajnih nezgoda sa traktorima. To je posebno utvrđeno za saobraćajne nezgode sa poginulim licima gde je dobijena vrednost Pirsonov koeficijent korelacije (-0,019, r 0.819). Hipoteza H2 se odnosi na očekivanje da postoji statistički značajna povezanost između količnika registrovanih traktora po gazdinstvima (KRTG) i pokazatelja saobraćajnih nezgoda (SN-pog, SN-pov, SN-mš). Drugim rečima, pretpostavka je bila da stepen mehanizovanosti poljoprivrede utiče na obrasce saobraćajnih nezgoda u kojima učestvuju traktori. Na osnovu različitih vrednosti i pravaca Pirsonovog koeficijenta korelacije može se zaključiti da hipoteza H2 je potvrđena – postoji značajna i različito usmerena povezanost između mehanizovanosti (KRTG) i strukture saobraćajnih nezgoda sa traktorima.

Testiranjem hipoteze H2 pomoću metode standardne višestruke regresione analize analizirano je koja od nezavisnih promenljivih najviše doprinosi predikciji zavisne promenljive. Zaključeno je da promenljiva broj traktora daje jedinstveni doprinos predikciji zavisne promenljive. Rezultati Beta koeficijenta su pokazali da promenljiva broj gazdinstava ne daje jedinstveni doprinos predikciji zavisne promenljive. Na ovaj način dokazana je hipoteza H2.

ZAKLJUČAK

Analiza podataka pokazuje da je ukupan broj registrovanih traktora glavni prediktor broja saobraćajnih nezgoda sa učešćem traktora u Republici Srbiji, dok ukupan broj poljoprivrednih gazdinstava nema značajan doprinos. Veći broj traktora povezan je pre svega sa nezgodama koje izazivaju materijalnu štetu, dok broj nezgoda sa povredama i poginulima nije značajno zavisao od intenziteta opremljenosti mehanizacijom.

Model višestruke regresije objašnjava 67,6% varijanse zavisne promenljive, što ukazuje na njegovu visoku prediktivnu snagu, a analiza reziduala potvrđuje da su osnovne pretpostavke modela uglavnom zadovoljene.

Rezultati istraživanja naglašavaju potrebu za kontinuiranim praćenjem saobraćajnih nezgoda i unapređenjem bezbednosnih mera za učešće traktora u javnom saobraćaju Republike Srbije..

LITERATURA

- [1] Facchinetti, D.; Santoro, S.; Galli, L.E.; Pessina, D. Agricultural Tractor Roll-Over Related Fatalities in Italy: Results from a 12 Years Analysis. *Sustainability* 2021, 13, 4536. <https://doi.org/10.3390/su13084536>
- [2] Arana, I.; Mangado, J.; Arnal, P.; Arazuri, S.; Alfaro, J.R.; Jaren, C. Evaluation of risk factors in fatal accidents in agriculture. *Span. J. Agric. Res.* 2010, 8, 592. Author 1, A.; Author 2, B. Book Title, 3rd ed.; Publisher: Publisher Location, Country, 2008; pp. 154–196. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010083-1254>
- [3] Catharinus F. Jaarsma & Jasper R. De Vries 2014. Agricultural Vehicles and Rural Road Safety: Tackling a Persistent Problem, *Traffic Injury Prevention*, 15:1, pp.94-101, DOI: 10.1080/15389588.2013.789135
- [4] Gkritza K, Kinzenbaw., CR, Hallmark S, Hawkins N. An empirical analysis of farmvehicle crash injury severities on Iowa's public road system. *Accid Anal Prev.* 2010;42:1392–1397.
- [5] The Committee on Agricultural Safety and Health Research and Extension 2009. Agricultural Equipment on Public Roads. National Ag Safety Database. <https://nasdonline.org/2065/d001906/agricultural-equipment-on-public-roads.html>
- [6] Volpe, J.A. 1971. Agricultural Tractor Safety on Public Roads and Farms: A Report to the Congress. Report No. 20402. United States Department of Transportation, Washington DC.
- [7] Runyan, J.L. 1993. A Review of Farm Accident Data Sources and Research. US Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington DC.
- [8] Gerberich, S.G., Robertson, L.S., Gibson, R.W. and Renier, C.B.S. 1996. An Epidemiological Study of Roadway Fatalities Related to Farm Vehicles: United States, 1988 to 1993. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, 38, pp. 1135-1140. <https://doi.org/10.1097/00043764-199611000-00013>
- [9] Jaarsma, R., Hermans., T., Rienks., W., De Vries., J. 2013. Enlarging of scale in dairy farming: consequences for farm-bound traffic flows in the countryside. *Wageningen Journal of Life Sciences* 2013; pp.67–75.
- [10] Jaarsma, C.F. and de Vries, J.R. 2014. Agricultural Vehicles and Rural Road Safety: Tackling a Persistent Problem. *Traffic Injury Prevention*, 15, pp.94-101. <https://doi.org/10.1080/15389588.2013.789135>
- [11] Scott, E., Hirabayashi, L., Jones, N., Krupa, N. and Jenkins, P. 2019. Characteristics of Agriculture Related Motor Vehicle Crashes in Rural New York State. *Journal of agromedicine*, 25, pp.173-178. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2019.1623143>
- [12] Pallant, J.2011. SPSS Survival Manual; Allen & Unwin: Crows Nest, Australia.

- [13] Vranješ, Đ.; Maric, B.; Đuric, T.; Jovanov, G.; Vasiljevic, J.; Jovanov, N.; Stojcic, D.R. 2022. Model for Sustainable Evaluation of the Impact of the Total Number of Centers for Technical Inspections of Motor Vehicles on the Occurrence and Consequences of Traffic Accidents in an Area. *Sustainability* 2022. godine, 14, 8873. <https://doi.org/10.3390/su14148873>
- [14] Vranješ, Đ.; Vasiljevic, J.; Jovanov, G.; Radovanovic, R.; Đuric, T. Study of the impact of technical malfunctioning of vital vehicular parts on traffic safety 2019. *Teh. Vjesn.* 2019, 26, 217080. <https://doi.org/10.17559/TV-20150908121510>
- [15] Karimi, K. and Faghri, A. 2021. Farm Vehicle Crashes on U.S. Public Roads: A Review Paper. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 11, pp. 34-54. <https://doi.org/10.4236/ojsst.2021.112004>
- [16] Karimi, K., Faghri, A. and Vaughan, M. 2021. Study of Farm Vehicle Crashes in Delaware. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 11, pp.104-119. <https://doi.org/10.4236/ojsst.2021.113008>
- [17] Soraia M.Antunes, Cristina Cordeiro, Helena M.Teixeira, 2018. Analysis of fatal accidents with tractors in the Centre of Portugal: Ten Years Analysis, *Forensic Science International*. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.03.048>. pp. 74-80
- [18] Macedo, D. X. S., Leonardo de Almeida Monteiro, Castro dos Santos, V., Chioderoli, C. A., & Albiero, D. 2015. Characterization of accidents involving tractors in Brazilian federal highways in the state of Minas Gerais. *African Journal of Agricultural Research*, 10(31), 3049-3055. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10051>
- [19] Agencija za bezbednost saobraćaja. 2022. Statistički izveštaj o bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji, <https://www.abs.gov.rs/admin/upload/documents/20231010092110-statisticki-izvestaj-o-stanju-bezbednosti-saobracaja-u-republici-srbiji-za-2022.-godinu.pdf>
- [20] Portal otvorenih podataka Data.gov.rs.2025. Broj svih registrovanih poljoprivrednih gazdinstava / aktivnih gazdinstava, <https://data.gov.rs/sr/datasets/rpg-broj-svikh-registrovanih-poljoprivrednih-gazdinstava-aktivna-gazdinstva/>
- [21] Republički zavod za statistiku. Republika Srbija. 2025. <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/saobracaj-i-telekomunikacije/registrovana-vozila>
- [22] Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council of 5 Feb. 2013 on the approval and market surveillance of agricultural and forestry vehicles Text with EEA relevance
- [23] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 - dr. zakon, 76/2023 i 19/2025)
- [24] Gligorević, B. K. 2014. Pojave i posledice nesreća sa traktorima i mobilnim poljoprivrednim mašinama u Republici Srbiji, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd. <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/2586>, pp.1-291.
- [25] Oljača V. Mićo, Kovačević Dušan, Radojević Rade, Gligorević Kosta, Pajić Miloš, Dimitrovski Zoran. 2010. Nesreće sa vozačima traktora u javnom saobraćaju Republike Srbije *Poljoprivredna tehnika*, vol. 35, No.1, pp.75-82. <https://scindeks.ceon.rs/article.aspx?query=ISSID%26and%268746&page=8&sort=8&stype=0&backurl=%2fissue.aspx%3fissue%3d8746>.
- [26] Dimitrovski, Z., Oljača, M., Gligorević, K., Dražić, M., Radojičić, D., Ružičić, L. 2011. Vrste saobraćajnih nesreća sa traktorima u Makedoniji. *Poljoprivredna tehnika*, vol.36, No.1, pp 71-77. <https://aspace.agrif.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/2508/2505.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [27] Gligorević Kosta, Oljača V. Mićo, Pajić Miloš, Dimitrovski Zoran, Dražić Milan, Radojičić Dušan. 2012. Nesreće sa vozačima traktora u javnom saobraćaju na teritoriji Beograda. *Poljoprivredna tehnika*, Vol. 37, No.2, str. 71-79. <https://scindeks.ceon.rs/article.aspx?query=ISSID%26and%2610414&page=7&sort=8&stype=0&backurl=%2fissue.aspx%3fissue%3d10414>.

INTEGRATED MODEL FOR THE ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE SAFETY OF TRACTOR MOVEMENTS IN PUBLIC TRANSPORT IN THE REPUBLIC OF SERBIA

**Dorđe Vranješ¹, Branka Bursać Vranješ¹, Goran Tričković²,
Željko Petrić³, Zdravko Tarlać¹**

¹*Institute BIT, Patrijarha Pavla 8, 22304 Novi Banovci, Republic of Serbia*

²*Academy of Technical and Art applied studies Belgrade, University of
Belgrade, Starine Novaka 24, Republic of Serbia*

³*University of Privredna akademija Brčko Distrikt, Petra Kočića 6,
Brčko Distrikt (Bosnia and Herzegovina)*

Abstract. Tractors represent a very important category of public traffic participants. In addition, they are a key factor in the daily work and development of agricultural activities worldwide. During the performance of their tasks, tractors are regularly present on both public and rural roads. In this context, tractors are significantly involved in traffic accidents on roads, as well as in unfortunate events occurring off public roads. The consequences of such accidents and incidents are often severe.

Numerous studies and research have been conducted so far, analyzing the causes and circumstances of tractor-related traffic accidents. Several key factors have been identified as contributing to the occurrence and outcomes of these accidents.

In this study, two working hypotheses were formulated and subsequently investigated and tested. As part of the research, a model was developed to analyze the impact of the number of registered tractors relative to the number of registered agricultural holdings on the occurrence of tractor-related accidents and their consequences, across municipalities in the Republic of Serbia.

The model examined the contribution of independent variables — the number of registered tractors and the number of agricultural holdings per municipality — to the dependent variable, which was the total number of traffic accidents involving tractors.

Using statistical data and applying standard multiple regression analysis in SPSS25, a statistically significant relationship was found between the observed variables.

It was concluded that the number of registered tractors has a different impact compared to the number of agricultural holdings, and that the proportion of tractors within the total number of holdings has a specific influence on the consequences of public traffic accidents involving tractors.

Key words: *Tractors, traffic safety, traffic accidents.*

Prijavljen:

Submitted: 17.07.2025.

Ispravljen:

Revised: 04.09.2025

Prihvaćen:

Accepted: 27.09.2025.