

Softversko rešenje za vizuelizaciju, grupisanje i filtriranje saobraćajnih nezgoda

1. Stefan Ćirković
Univerzitet u Kragujevcu
Fakultet tehničkih nauka
Čačak, Srbija

e-mail stefan.cirkovic@ftn.kg.ac.rs
ORCID 0009-0004-6775-1543

2. Marija Blagojević
Univerzitet u Kragujevcu
Fakultet tehničkih nauka
Čačak, Srbija

e-mail marija.blagojevic@ftn.kg.ac.rs
ORCID 0000-0003-4186-0448

3. Milan Ilić
Agencija za bezbednost saobraćaja
Republike Srbije
Beograd, Srbija
e-mail milan.ilic@abs.gov.rs

4. Srećko Ćurčić
Univerzitet u Kragujevcu
Fakultet tehničkih nauka
Čačak, Srbija

e-mail srecko.curcic@ftn.kg.ac.rs
ORCID 0000-0002-6632-293X

Abstract—Cilj ovog rada je razvoj veb aplikacije koja omogućava preciznu identifikaciju kritičnih tačaka na saobraćajnoj mreži. Analizirani su ključni faktori koji utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda. Kroz sprovedenu analizu trendova i obrazaca ponašanja učesnika u saobraćaju, istraženi su faktori kao što su sezonske, vremenske i prostorne varijacije učestalosti nezgoda. Dobijeni rezultati pružaju uvid u najkritičnije dane, mesece i uslove, kao i ulogu osvetljenosti na povećanje rizika tokom noći. Ovi rezultati mogu poslužiti kao osnova za kreiranje preventivnih strategija za obezbeđenje bezbednosti. Predloženi metodološki pristup omogućava primenu u različitim oblastima istraživanja, kao što su napredne tehnike mašinskog učenja i razvoj modela za predikciju nezgoda.

Ključne reči— saobraćajna bezbednost, veb aplikacija, analiza nezgoda, prostorni podaci, mašinsko učenje.

I. UVOD

Saobraćajne nezgode predstavljaju jedan od najvećih izazova u oblasti bezbednosti saobraćaja, kako na globalnom nivou, tako i u Republici Srbiji. Njihova učestalost kao i ozbiljnost posledica i ekonomski gubici čine ih značajnim problemom koji zahteva kontinuirano istraživanje i analizu. Saobraćajne nezgode ugrožavaju ljudske živote i zdravlje ali i dovode do velikih materijalne troškove.

Za razvoj efikasnih rešenja za prevenciju i smanjenje broj nezgoda neophodno je razumevanje prostorne i vremenske distribucije saobraćajnih nezgoda. Klaster analiza omogućava grupisanje podataka o nezgodama prema sličnim karakteristikama. Time se otkrivaju obrasci i faktori koji utiču na njihovu učestalost i težinu. Ova analiza omogućava identifikaciju kritičnih tačaka odnosno lokacija gde se saobraćajne nezgode dešavaju u većem broju ili sa težim posledicama. Time se omogućava donošenje ciljano usmerenih mera za poboljšanje bezbednosti saobraćaja.

Saobraćajne nezgode su rezultat različitih faktora koji uključuju infrastrukturne karakteristike, ponašanje učesnika u saobraćaju, vremenske uslove, gustinu saobraćaja i druge aspekte. Analizom ovih faktora kroz metode klaster analize moguće je steći dublje razumevanje njihovog uticaja i predložiti adekvatne mere za smanjenje rizika.

Cilj ovog istraživanja je primena klaster analize na podatke o saobraćajnim nezgodama u Srbiji u cilju identifikacije prostornih obrazaca i ključnih faktora koji utiču na njihov nastanak. Istraživanje ima za cilj da izdvoji područja sa povećanom učestalošću saobraćajnih nezgoda i utvrdi zajedničke karakteristike nezgoda koje se na tim lokacijama dešavaju.

Svrha istraživanja je doprinos unapređenju saobraćajne bezbednosti kroz bolje razumevanje prostorne distribucije saobraćajnih nezgoda. Dobijeni rezultati mogu poslužiti kao osnova za kreiranje preventivnih strategija kao i donošenje adekvatnih propisa u cilju povećanja sigurnosti svih učesnika u saobraćaju. Osim toga, istraživanje može imati značajnu primenu u planiranju saobraćajne mreže kao i optimizaciji postavljanja saobraćajnih znakova, semafora i drugih elemenata koji mogu doprineti smanjenju broja nezgoda.

U prethodnim istraživanjima, adaptivni pristup klasterovanju za predikciju saobraćajnih nezgoda, koristeći algoritam za rast mreže, predložen je za prilagođavanje geografske agregacije distribuciji nezgoda [1]. Ovaj metod je primenjen na otvorene skupove podataka iz tri nemačka grada, pokazavši poboljšanje u predikciji nezgoda u složenim urbanim sredinama.

Efikasnost različitih klaster algoritama u identifikaciji područja sklonih saobraćajnim nezgodama analizirana je u radu [2], gde je pokazano da su algoritmi zasnovani na gustini, poput DBSCAN i OPTICS, efikasniji u identifikaciji kritičnih tačaka u poređenju sa tradicionalnim metodama.

U radu objavljenom u časopisu Applied Sciences, istraživači su pristupili klasterovanju saobraćajnih nezgoda kao Gestalt problemu, fokusirajući se na perceptivne aspekte grupisanja nezgoda [3]. Ovaj pristup omogućava identifikaciju obrazaca koji nisu očigledni pri korišćenju tradicionalnih metoda, pružajući dublje razumevanje faktora koji doprinose nezgodama.

Analiza železničkih nesreća na putnim prelazima u Autonomnoj Pokrajini Vojvodini sprovedena je primenom klaster analize u radu [4]. Rezultati su ukazali na specifične lokacije sa povećanim rizikom, što je omogućilo predlaganje ciljanih mera za poboljšanje bezbednosti na tim prelazima.

Iako nije direktno vezano za saobraćajne nezgode, istraživanje o primeni klaster analize u proučavanju demografske starosti stanovništva pruža uvid u metodološke pristupe koji se mogu primeniti i u analizi saobraćajnih podataka [5]. Ova studija demonstrira kako se klaster analiza može koristiti za identifikaciju obrazaca u različitim oblastima istraživanja.

U poređenju sa prikazanim srodnim istraživanjima, predloženo istraživanje kroz interaktivnu i jednostavnu aplikaciju omogućava svim zainteresovanim stranama da brzo i jednostavno dođu do rezultata klaster analize.

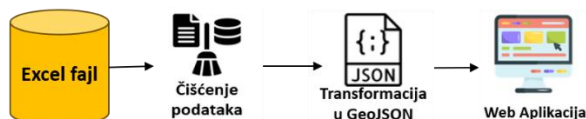
II. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje koristi klaster analizu za identifikaciju prostornih obrazaca i ključnih faktora koji utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda u Republici Srbiji. Metodološki pristup obuhvata prikupljanje, preprocesiranje i analizu podataka, kao i razvoj veb aplikacije za vizuelizaciju rezultata.

A. Skup podataka i njihovo pretprocesiranje

Podaci korišćeni u ovom istraživanju dobijeni su od Agencije za bezbednost saobraćaja Republike Srbije [6] i obuhvataju vremenski period od 2015. do 2020. godine. Podaci su u početnom obliku bili organizovani u Excel fajlu, sa različitim sheet-ovima koji su sadržali informacije o nezgodama, vremenskim prilikama, periodu dana, posledicama i drugim relevantnim karakteristikama.

Na Sl. 1 prikazan je proces obrade podataka o saobraćajnim nezgodama, koji se sastoji od više faza. Početni skup podataka dostupan je u Excel formatu, nakon čega se primenjuje postupak preprocesiranja, uključujući čišćenje podataka, uklanjanje nedostajućih vrednosti i prilagođavanje formata za dalju analizu. Sledeći korak, obuhvata transformaciju podataka u GeoJSON format, koji omogućava njihovu geografski orijentisanu vizualizaciju. GeoJSON datoteka sadrži ključne atribute, kao što su GPS koordinate (X i Y), period dana, posledice nesreće, godina i vremenski uslovi. Podaci iz GeoJSON dataoteke prikazuju se u web aplikaciju, gde se koriste za analizu i interaktivni prikaz saobraćajnih nesreća.



Sl. 1. Proces obrade podataka

B. Razvoj veb aplikacije

Nakon preprocesiranja podataka, razvijena je veb aplikacija koja omogućava korisnicima da vizuelno analiziraju podatke o saobraćajnim nezgodama na interaktivnoj mapi. Aplikacija je razvijena koristeći veb tehnologije, uključujući HTML, CSS, JavaScript i biblioteke za mapiranje kao što su Leaflet i Leaflet.markercluster [7].

C. Ključne komponente aplikacije

Aplikacija za analizu saobraćajnih nezgoda integriše interaktivnu mapu zasnovanu na Leaflet biblioteci, omogućavajući vizualizaciju podataka putem klastera i toplotne mape (heatmap). Klasterizacija, realizovana pomoću Leaflet.markercluster biblioteke, grupiše nezgode prema geografskoj blizini, dok toplotna mapa je kreirana uz pomoć biblioteke Leaflet.heat, prikazuje intenzitet nesreća kroz različite boje. Korisnici mogu filtrirati podatke prema posledicama, periodu dana, godini i vremenskim uslovima, čime se omogućava preciznija analiza. Pored toga, aplikacija prikazuje statistiku, uključujući broj nezgoda, raspodelu posledica i distribuciju po vremenskim intervalima, čime se omogućava efikasna evaluacija saobraćajnih rizika.

D. Biblioteke i tehnologije korišćene u aplikaciji

U okviru aplikacije implementirane su različite biblioteke i tehnologije za vizuelizaciju podataka i poboljšanje korisničkog interfejsa. Leaflet, open-source JavaScript biblioteka, omogućava prikaz interaktivnih mapa na web platformama, pružajući podršku za različite slojeve (tile layers), markere i interaktivne elemente, čime se poboljšava analiza geoprostornih podataka. Kako bi se obezbedila efikasna vizuelizacija većeg broja geoprostornih entiteta, korišćena je Leaflet.markercluster biblioteka, koja grupiše markere u klasterne, smanjujući vizuelnu pretrpanost i omogućavajući precizniju analizu koncentracije saobraćajnih nezgoda. Za analizu prostorne distribucije podataka primenjena je Leaflet.heat biblioteka, koja generiše toplotne mape (heatmaps), naglašavajući oblasti sa povećanim rizikom kroz različite boje [7]. U cilju unapređenja responzivnosti korisničkog interfejsa, primenjen je Bootstrap framework, koji omogućava adaptivno prilagođavanje elemenata interfejsa različitim vrstama uređaja, čime se poboljšava dostupnost i upotrebljivost aplikacije [8].

E. Implementacija softverskog rešenja i dostupnost koda

U cilju transparentnosti i istraživanja, kompletan kod razvijene veb aplikacije za vizuelizaciju, grupisanje i filtriranje saobraćajnih nezgoda dostupan je na GitHub platformi [9]. Korisnici mogu takođe pristupiti aplikaciji putem sledeće reference [10]. Ovaj pristup omogućava svim zainteresovanim stranama da testiraju funkcionalnosti aplikacije, analiziraju korišćene tehnologije i procene potencijal za dalju primenu ili unapređenje sistema.

III. REZULTATI I DISKUSIJA

Analiza saobraćajnih nesreća u Srbiji prikazuje detaljne statističke podatke o učestalosti, vremenskom rasponu i posledicama nesreća. Prilikom preprocesiranja podataka određeni zapisi nisu mogli biti uključeni u analizu, jer nisu sadržali X i Y koordinate GPS-a, niti relevantne informacije potrebne za preciznu kategorizaciju nesreća. Na sledećoj Sl. 2,

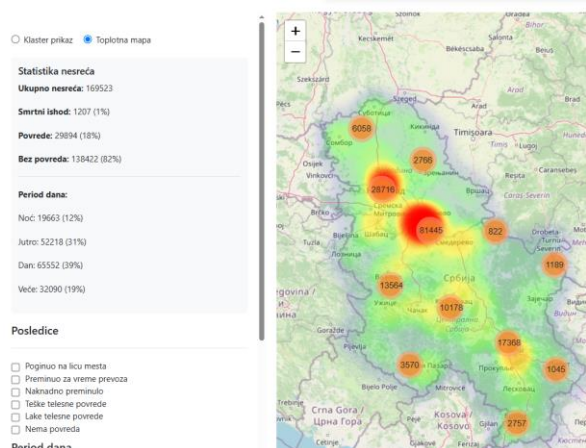
prikazana je veb aplikacija koja obuhvata analizu od 169.523 registrovane saobraćajne nesreće, pri čemu je 1.207 imalo smrtni ishod, što čini oko 1% ukupnog broja.

Povrede su zabeležene u 29.894 slučaja (18%), dok je najveći broj nesreća, čak 138.422 (82%), prošao bez povreda učesnika.

Analizom perioda dana u kojem su se nesreće dešavale, uočava se da su najkritičniji periodi dan i jutro, kada dolazi do 65.552 (39%) i 52.218 (31%) nesreća respektivno. Večernji sati doprinose sa 32.090 nesreća (19%), dok je najmanji broj incidenata zabeležen tokom noći 19.663 nesreće (12%). Podaci ukazuju na to da je povećana frekvencija saobraćaja tokom dana i jutra verovatno ključni faktor u većem broju nesreća.

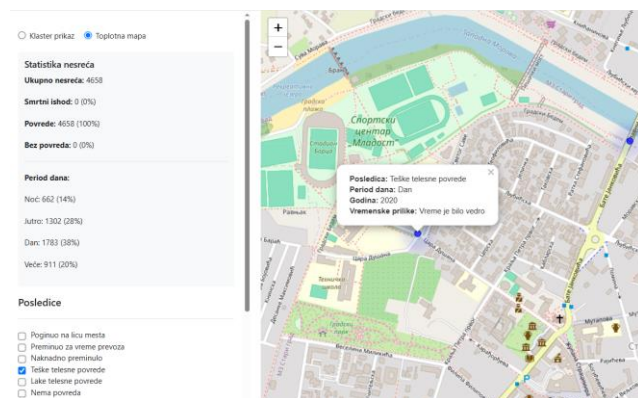
Što se tiče posledica, nesreće su kategorizovane prema težini ishoda. Najteži slučajevi obuhvataju smrt na licu mesta, smrt tokom transporta ili naknadnu smrt. Takođe, postoji značajan broj teških i lakših telesnih povreda, dok je najveći procenat nesreća prošao bez ikakvih povreda učesnika.

Na mapi Srbije prikazana je toplotna distribucija nesreća, gde su istaknuti klasteri sa povećanom učestalošću saobraćajnih nezgoda. Ova vizualizacija omogućava bolji uvid u regije sa najvećim rizikom od nesreća, što može pomoći u donošenju preventivnih mera za poboljšanje bezbednosti na putevima.



Sl. 2. Prikaz saobraćajnih nesreća u Srbiji u vidu toplotne mape

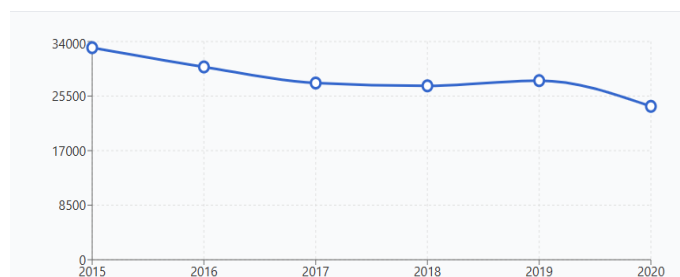
Na sledećoj Sl. 3 predstavljena je analiza saobraćajnih nesreća sa teškim telesnim povredama na teritoriji Srbije, pri čemu je identifikovano ukupno 4658 incidenata u posmatranom periodu. Filteri korišćeni u analizi obuhvataju isključivo nesreće sa teškim telesnim povredama, uz dodatni kriterijum vremenskih prilika – vedro vreme. Rezultati pokazuju da se najveći broj incidenata dogodio tokom dana (38%), zatim u jutarnjim časovima (28%), dok su nesreće u noćnim (14%) i večernjim satima (20%) bile manje zastupljene. Vizuelna reprezentacija podataka na mapi omogućava precizniju identifikaciju kritičnih tačaka, odnosno lokacija sa povećanom učestalošću nesreća. Činjenica da su vremenski uslovi u trenutku nesreće često bili povoljni ukazuje na to da ključni uzroci nesreća verovatno nisu povezani sa meteorološkim faktorima, već pretežno sa ljudskim faktorima, infrastrukturnim nedostacima ili specifičnostima saobraćajne dinamike.



Sl. 3. Prikaz filtriranja podataka na mapi sa fokusom na pojedinačni entitet

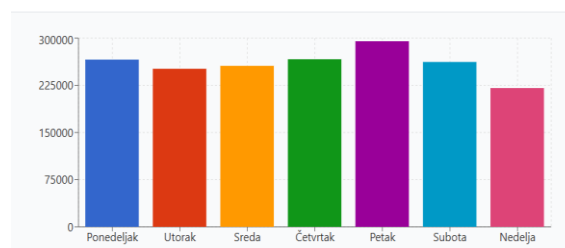
IV. TRENDovi I OBRASCI PONAŠANJA UČESNIKA U SAOBRAĆAJNIM NEZGODAMA

Dugoročni trend saobraćajnih nezgoda u Srbiji u periodu od 2015. do 2020. godine prikazan je na Sl. 4. Jasno je uočljiv pad broja nezgoda tokom posmatranog perioda. Dok je 2015. godine zabeleženo oko 34.000 nezgoda, do 2020. taj broj opada ispod 26.000. Kontinuirano smanjenje je primetno od 2015. do 2017, nakon čega sledi faza stabilizacije između 2017. i 2019. godine, a potom blagi pad u 2020. Ovaj trend može se povezati sa unapređenjem saobraćajne infrastrukture, strožim zakonskim propisima, efikasnijom kontrolom saobraćaja i povećanom svesću vozača o bezbednosti na putevima.



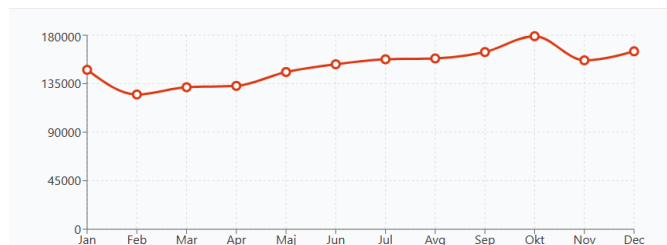
Sl. 4. Trend saobraćajnih nezgoda po godinama.

Analiza distribucije saobraćajnih nezgoda po danima u nedelji predstavljena je na Sl. 5. Petak se izdvaja kao dan sa najvećim brojem incidenata, što može biti posledica povećanog obima saobraćaja usled završetka radne nedelje i početka vikenda. Ostali radni dani (ponedeljak–četvrtak) imaju približno sličan broj nezgoda, dok subota i nedelja beleže nešto niže vrednosti. Smanjenje broja nezgoda tokom vikenda može se objasniti manjim intenzitetom saobraćaja u urbanim sredinama, kao i činjenicom da je manje ljudi na putu u ranim jutarnjim satima, kada se veliki broj nesreća inače dešava.



Sl. 5. Raspodela nezgoda po danima u nedelji

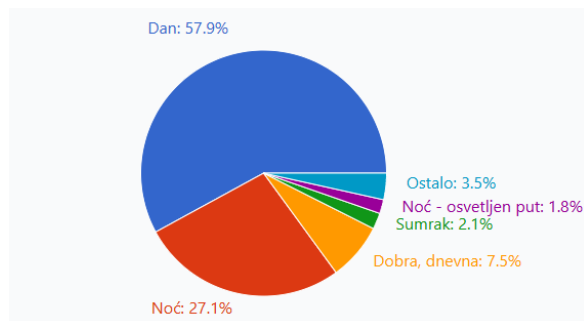
Mesečni trend saobraćajnih nezgoda tokom godine prikazan je na Sl. 6. Januar beleži visoke vrednosti, nakon čega dolazi do smanjenja u februaru i martu. Od aprila nadalje, broj nezgoda počinje da raste, dostižući vrhunac u oktobru. Blagi pad se beleži u novembru, dok decembar ponovo pokazuje porast broja incidenata. Ovaj obrazac može biti povezan sa sezonskim faktorima – lošiji vremenski uslovi u zimskim mesecima, povećana gustina saobraćaja tokom letnjih meseci, kao i povećana aktivnost vozača u periodima praznika i godišnjih odmora.



Sl. 6. Mesečni trend saobraćajnih nezgoda

Na Sl. 7. prikazuje distribuciju saobraćajnih nezgoda u Srbiji u zavisnosti od uslova osvetljenosti u trenutku incidenta. Najveći procenat nezgoda (57.9%) dogodio se tokom dana, što sugerise da je vidljivost samo jedan od faktora koji utiču na učestalost nesreća. Noćne nezgode čine značajan udeo (27.1%), dok su dodatni faktori, poput dobre dnevne osvetljenosti (7.5%) i sumraka (2.1%), manje zastupljeni.

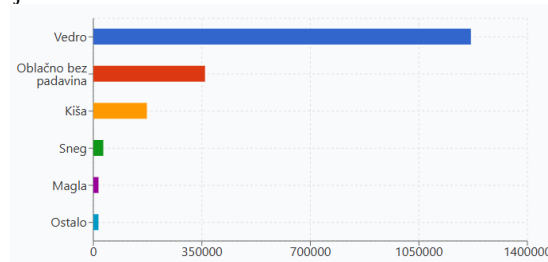
Posebno je zanimljivo da je procenat nesreća na osvetljenim putevima noću izuzetno nizak (1.8%), što može ukazivati na važnost adekvatnog osvetljenja u smanjenju broja nesreća. Ostale kategorije čine 3.5%, što obuhvata specifične ili neklasifikovane uslove osvetljenosti. Ovi podaci su značajni za planiranje infrastrukture, posebno u oblastima sa povećanim brojem nesreća tokom noćnih sati.



Sl. 7. Osvetljenost tokom nezgoda

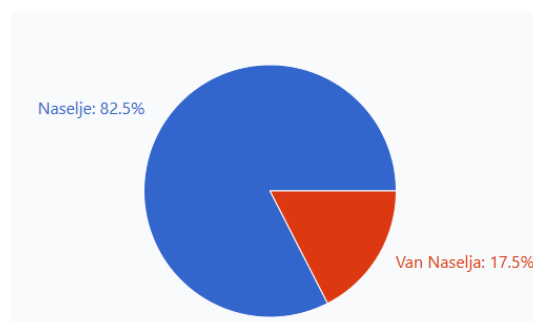
Stubičasti dijagram na Sl. 8 prikazuje distribuciju saobraćajnih nezgoda u odnosu na vremenske uslove, pri čemu je najveći broj nesreća zabeležen tokom vedrog vremena, što može biti posledica povećanog obima saobraćaja i većih brzina kretanja vozila. Oblačno vreme bez padavina takođe ima značajan udeo u ukupnom broju nesreća, dok su kišni uslovi nešto manje zastupljeni, ali i dalje relevantni. Sneg, magla i ostali vremenski uslovi beleže manji procenat nesreća, iako takvi incidenti često imaju teže posledice. Ovi podaci naglašavaju potrebu za analizom faktora poput prilagođavanja brzine vremenskim uslovima i poboljšanja infrastrukture kako

bi se smanjio rizik nesreća u različitim meteorološkim situacijama.



Sl. 8. Vremenske prilike tokom nezgoda

Grafikon na Sl. 9 prikazuje distribuciju saobraćajnih nesreća u naseljenim i van naseljenim oblastima, pri čemu se najveći broj nezgoda (82.5%) dešava u naseljenim mestima, što je rezultat većeg obima saobraćaja, gušće populacije i prisustva pešaka. Ipak, značajan procenat nesreća (17.5%) događa se u nenaseljenim oblastima, što može ukazivati na probleme poput prekomerne brzine, umora vozača i nedovoljne osvetljenosti na otvorenim putevima. Ova statistika je u skladu sa globalnim trendovima, gde su nesreće češće u urbanim sredinama, dok se na autoputevima i magistralnim putevima beleže incidenti s težim posledicama. Poboljšanje infrastrukture, postavljanje radarskih kontrola i podizanje svesti vozača o rizicima vožnje u ruralnim oblastima mogli bi doprineti povećanju bezbednosti.



Sl. 9. Saobraćajne nesreće u naseljima i van

V. ZAKLJUČAK

Razvijena veb aplikacija omogućava preciznu identifikaciju kritičnih tačaka na saobraćajnoj mreži, dublje razumevanje ključnih faktora koji doprinose nastanku nezgoda i donošenje informisanih odluka sa ciljem smanjenja rizika. Dobijeni rezultati pružaju značajne uvide koji mogu poslužiti kao osnova za kreiranje efikasnih preventivnih strategija, unapređenje saobraćajne infrastrukture i donošenje politika usmerenih na povećanje bezbednosti svih učesnika u saobraćaju.

Sprovedena analiza trendova i obrazaca ponašanja učesnika u saobraćajnim nezgodama omogućila je detaljnu evaluaciju dugoročnih trendova, ističući sezonske, vremenske i prostorne varijacije učestalosti nezgoda. Statistički nalazi pokazuju kontinuirani pad broja nezgoda tokom analiziranog šestogodišnjeg perioda, sa izraženim razlikama u zavisnosti od dana u nedelji, meseca i vremenskih uslova. Petak se istakao kao dan sa najvećim brojem incidenata, dok su oktobar i januar identifikovani kao najkritičniji meseci. Analiza osvetljenosti ukazuje na to da se najveći broj nezgoda događa tokom dana, ali

da neadekvatna rasveta na putevima noću značajno povećava rizik od nesreća.

Pored svoje primene u domenu saobraćajne bezbednosti, predloženi metodološki okvir pokazuje visok stepen fleksibilnosti i široku primenljivost u analizi prostornih podataka i identifikaciji obrazaca u različitim oblastima istraživanja. Ovi nalazi otvaraju prostor za buduća istraživanja, koja mogu uključivati napredne tehnike mašinskog učenja za predikciju saobraćajnih nezgoda, integraciju dodatnih faktora rizika i razvoj sofisticiranih modela za podršku donošenju odluka u oblasti bezbednosti saobraćaja.

enhance safety. The proposed methodological approach allows for application in various research areas, such as advanced machine learning techniques and the development of accident prediction models.

Software Solution for Visualization, Clustering, and Filtering of Traffic Accidents

Stefan Ćirković, Marija Blagojević, Milan Ilić,
Srećko Ćurčić

ZAHVALNICA

Ova studija je podržana od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, a ovi rezultati su deo Ugovora br. 451-03-137/2025-03/200132.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] R. Dadwal, T. Funke, and E. Demidova, "An adaptive clustering approach for accident prediction," in 2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), 2021, pp. 1405–1411.
- [2] M. R. Islam, I. J. Jenny, M. Nayan, M. R. Islam, M. Amiruzzaman, and M. Abdullah-Al-Wadud, "Clustering algorithms to analyze the road traffic crashes," in 2021 International Conference on Science & Contemporary Technologies (ICSCT), 2021, pp. 1–6.
- [3] M. Gnjatović, I. Košanin, N. Maček, and D. Joksimović, "Clustering of road traffic accidents as a gestalt problem," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 9, p. 4543, 2022.
- [4] G. Stojic, "Анализа железничких несрећа на путним прелазима на територији АП Војводине," *Zbornik Radova Fakulteta Tehničkih Nauka*, 2023.
- [5] L. Sekulić, "Appliance of cluster analysis in the study of demographic age," *Stanovništvo*, vol. 40, no. 1-4, pp. 154–170, Oct. 2002. doi: 10.59954/stnv.307.
- [6] Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije, „Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije,“ [Online]. Dostupno na: <https://www.abs.gov.rs/rsc>. [Pristupljeno: 12.3.2025].
- [7] Leaflet, „Leaflet - a JavaScript library for interactive maps.“ [Online]. Dostupno na: <https://leafletjs.com/>. [Pristupljeno: 12. 3. 2025].
- [8] Bootstrap, The most popular HTML, CSS, and JS library in the world, [Online]. Dostupno na: <https://getbootstrap.com/>. [Pristupljeno: 12. 3. 2025].
- [9] „Softversko rešenje za vizuelizaciju saobraćajnih nezgoda,“ GitHub, 2025. [Online]. Dostupno na: <https://github.com/cirkovicstefan123/Geografska-analiza-posledica-i-vremenskih-faktora>. [Pristupljeno: 12. 5. 2025].
- [10] „Veb aplikacija geografskih analiza posledica i vremenskih faktora,“ [Online]. Dostupno na: <https://fed-cirkovicstefans-projects.vercel.app/>. [Pristupljeno: 12. 5. 2025].

ABSTRACT

The aim of this paper is to develop a web application that enables precise identification of critical points in the traffic network. Key factors influencing the occurrence of traffic accidents have been analyzed. Through an analysis of trends and behavioral patterns of traffic participants, factors such as seasonal, weather, and spatial variations in accident frequency have been investigated. The obtained results provide insight into the most critical days, months, and conditions, as well as the role of lighting in increasing risk during nighttime. These findings can serve as a foundation for creating preventive strategies to