

AVEB APLIKACIJA ZA PREDVIĐANJE NEZGODA NA PUTNO-PRUŽNIM PRELAZIMA KORIŠĆENJEM HETEROGENOG MODELA SISTEMA REDOVA ČEKANJA

WEB APPLICATION FOR ACCIDENT PREDICTION AT ROAD–RAIL WAY CROSSINGS USING A HETEROGENEOUS QUEUEING SYSTEM MODEL

UDK: 656.2+004:656.2+654.9

REZIME:

U ovom radu je predstavljena veb aplikacija koja simulira prethodno objavljeni teorijski model maksimalnog rizika od sudara na putno-pružnim prelazima. Primarni cilj istraživanja je da se obezbedi praktična softverska implementacija modela heterogenog sistema redova čekanja za procenu potencijalnog rizika od nezgoda koristeći različite ulazne parametre. Jezgro rešenja se oslanja na teorijsku osnovu dizajniranu da kvantifikuje verovatnoću sudara pod različitim faktorima i uslovima. Da bi se implementirao model, kreiran je skup test scenarija (slučajeva) za simulaciju različitih saobraćajnih uslova i konfiguracija prelaza, omogućavajući validaciju teorijskih pretpostavki. Veb aplikacija je razvijena koristeći Java Spring Boot za osnovnu platformu, PostgreSQL za skladištenje podataka i veb interfejs zasnovan na Angular-u koji pruža vizuelizaciju, sortiranje i rangiranje izračunatih vrednosti rizika. Predstavljena aplikacija pokazuje kako se uspostavljeni teorijski modeli mogu implementirati i analizirati putem modernih veb tehnologija kako bi se podržala dalja istraživanja i donošenje odluka u proceni bezbednosti putno-pružnih prelaza. **Ključne reči:** veb aplikacija, Java, Angular, PostgreSQL, bezbednost, putno-pružni prelazi

SUMMARY:

In this paper, a web application is presented that simulates a previously published theoretical model of occurrence maximum crash risk at road–rail crossings. The primary objective of the research is to provide practical software implementation of a model Heterogeneous Queueing System for estimating potential accident risk using various input parameters. The core of the solution relies on a theoretical foundation designed to quantify the likelihood of collisions under different factors and conditions. To implement the model, a set of test scenarios (cases) was created to simulate various traffic conditions and crossing configurations, enabling validation of the theoretical assumptions. The web application was developed using Java Spring Boot for the backend, PostgreSQL for data storage, and an Angular-based web interface that provides visualization, sorting, and ranking of the calculated risk values. The presented application demonstrates how established theoretical models can be implemented and analyzed through modern web technologies to support further research and decision-making in road–rail crossing safety assessment. **Keywords:** Web application, Java, Angular, PostgreSQL, Safety, Road-rail crossings

* Marko Ercegovac, Univerzitet Singidunum, Beograd, Danijelova 32, markoercegovac97@gmail.com

1. UVOD I METODOLOGIJA

Putno-pružni prelaz u nivou može da se konceptualizuje kao sistem masovnog opsluživanja (SMO) koji opslužuje vozila iz dva interakciona saobraćajna podsistema: železnice i drumca. U svrhu simulacije, usvojen je postojeći objavljeni model [1], a statistički parametri definisani u okviru tog modela koriste se kao ulazni podaci za razvoj veb aplikacije. Aplikacija uključuje geometrijske ka-

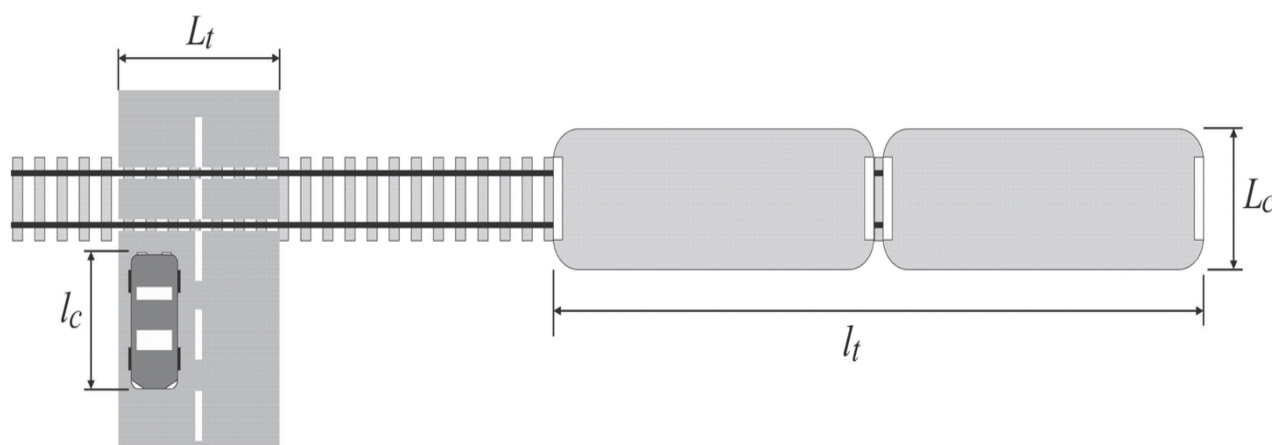
rakteristike prelaza, kinematičke (brzinske) faktore drumskog i železničkog saobraćaja i verovatnoće stanja heterogenog sistema redova čekanja [2].

1.1. Ulazni parametri

Aplikacija koristi statističke parametre [2] navedene u Tabeli I. Geometrijske karakteristike putno-pružnog prelaza su ilustrovane na Slici 1.

Tabela 1. Statistički parametri korišćeni u aplikaciji.

Simbol	Opisi simbola
l_c	Kritična dužina puta povezana sa pružnim prelazom (m)
l_t	Prosečna dužina voza (m)
L_c	Kritično rastojanje za drumska vozila, jednako prosečnoj čeonj dužini voza ili efektivnoj širini opasne zone prelaza (m)
L_t	Kritično rastojanje za železnička vozila, jednako prosečnoj čeonj širini (ili dužini blokiranja) prelaza koji zauzima voz (m)
λ_c	Prosečan dnevni intenzitet drumskih vozila na putno-pružnom prelazu (vozila po danu)
λ_t	Prosečan dnevni intenzitet vozova na putno-pružnom prelazu (vozova po danu)
v_c	Prosečna brzina drumskih vozila koja se približavaju i prolaze preko pružnog prelaza (m/s)
v_t	Prosečna brzina vozova koji prolaze preko pružnog prelaza (m/s)
T	Broj godina koje se razmatraju u analizi nezgoda
n_{real}	Ukupan broj stvarnih nezgoda zabeleženih tokom perioda posmatranja T



Slika 1. Ključni geometrijski parametri putno pružnog prelaza

Broj zabeleženih nezgoda i incidenata može se normalizovati u odnosu na broj drumskih vozila statistički posmatranih na pružnom prelazu n_{real} tokom perioda posmatranja. Ova normalizacija

omogućava izračunavanje intenziteta nezgode ili incidenata po vozilu, tj. verovatnoće da će nasumično izabrano vozilo biti uključeno u događaj. Realna verovatnoća nezgode preal izračunava se na osno-

Web aplikacija za predviđanje nezgoda na putno-pružnim prelazima korišćenjem heterogenog modela sistema redova čekanja

vu ukupnog broja zabeleženih vozila, n_{real} , tokom perioda posmatranja T . Ona predstavlja normalizovani broj vozila koja prelaze preko pružnog prelaza dnevno i po jedinici dužine kritične deonice puta. Parametar je definisan na sledeći način:

$$p_{real} = \frac{n_{real}}{T \cdot 365 \cdot \lambda_c}$$

Ovaj parametar se koristi u naknadnim proračunima za određivanje izloženosti riziku i verovatnoće nastanka nezgode po vozilu. Teorijska verovatnoća nezgode p_{theory} određuje se na osnovu broja simuliranih vozila n_{theory} dobijenih iz usvojenog modela [1]:

$$p_{theory} = \frac{n_{theory}}{T \cdot 365 \cdot \lambda_c}$$

Sintetička pouzdanost rada R izražava relativno odstupanje između teorijske i realne verovatnoće nezgode i definiše se kao relacija:

$$p_{real} = \frac{p_{theory} - p_{real}}{p_{theory}}$$

Veća vrednost R ukazuje na bolje slaganje između teorijskog modela i stvarnih sistema, a samim tim i veće sintetičke pouzdanosti putno-pružnog prelaza. Komplementarna vrednost sintetičke pouzdanosti predstavlja rizik putno-pružnog prelaza i data je sa:

$$r = R - 1$$

gde je:

r — rizik putno-pružnog prelaza,

R — sintetička pouzdanost.

Nakon što su svi parametri uneti, aplikacija izračunava sintetičku pouzdanost rada (R) i maksimalni teorijski rizik, koji služe kao ključni indikatori za procenu bezbednosnih performansi putno-pružnog prelaza.

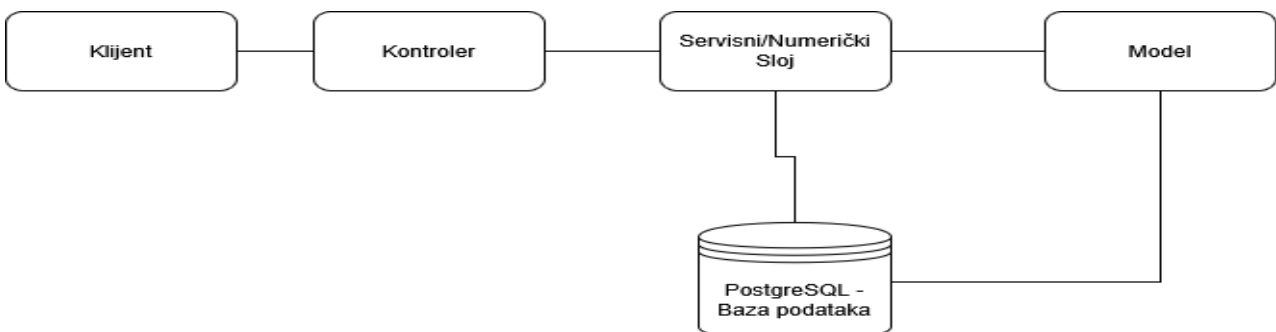
2. IMPLEMENTACIJE I REZULTATI

2.1. Arhitektura veb aplikacije

Na osnovu prethodno opisanog modela heterogenog sistema redova čekanja (SMO), razvijena je veb aplikacija za implementaciju predložene metodologije za procenu rizika na putno-pružnim prelazima. Aplikacija je dizajnirana sa fokusom na modularnost, skalabilnost i jednostavnost korišćenja, obezbeđujući efikasno izračunavanje i jasnu vizuelizaciju izračunatih indikatora bezbednosti.

Arhitektura sistema je jednostavna, ali robusna, i sastoji se od tri osnovne komponente. PostgreSQL [3] baza podataka služi kao sloj za skladištenje podataka, odgovoran za upravljanje svim statističkim, geometrijskim i simulacionim parametrima. Serverska aplikacija, implementirana korišćenjem Java [4] Spring Boot [5] okvira, obrađuje izračunavanje modela, procenu rizika i logiku obrade podataka. Korisnički interfejs, razvijen pomoću Angular okvira [6], pruža intuitivno i interaktivno okruženje koje omogućava korisnicima da unose parametre, vizualizuju rezultate i tumače izračunate indikatore kao što su pouzdanost i nivoi rizika.

Komunikacija između klijenta i servera ostvaruje se putem RESTful API-ja [7], što obezbeđuje fleksibilnost i potencijalnu integraciju sa spoljnim analitičkim ili sistemima za prikupljanje podataka. Predložena arhitektura sistema je ilustrovana [8] na slici 2.



Slika 2. Predložena arhitektura veb aplikacije.

Web aplikacija za predviđanje nezgoda na putno-pružnim prelazima korišćenjem heterogenog modela sistema redova čekanja

Web aplikacija je u potpunosti implementirana da prati predloženu arhitekturu. Radi transparentnosti i reproduktivnosti, kompletan izvorni kod i uputstva za implementaciju dostupni su u javnom GitHub [9] repozitorijumu.

Repozitorijum pruža pristup osnovnoj platformi aplikacije Spring Boot [5], frontendu Angular [6] i konfiguraciji baze podataka PostgreSQL [3], omogućavajući drugim istraživačima da reprodukuju ili prošire predstavljene rezultate.

Putno-pružni prelaz je u informacionom modelu predstavljen kao jedan entitet, dizajniran da podrži unos i geometrijskih i stohastičkih specifikacija prelaza.

Entitet sadrži sledeće attribute: jedinstveni identifikator (id), naziv putno-pružnog prelaza, naziv železničke pruge na kojoj se nalazi putno-pružni prelaz i naziv puta koji prelazi preko pruge. Dodatni parametri uključuju nivo zaštite [10] (vrstu sigurnosne opreme) kako je prikazano na slici 3.

Forma za unos osnovnih informacija o putno-pružnom prelazu

I. Osnovne informacije

Naziv putno-pružnog prelaza

Buđanovci

Naziv pruge i stacionaža u kilometrima

Pruga br. 211 km 3+285

Naziv puta na prelazu

Lokalni put L-1

Nivo obezbeđenja putno-pružnog prelaza („Službeni glasnik RS”, br. 89/2016)

Putni prelaz je pasivan i obezbeđen je sa saobraćajnim znacima na putu i na pruži i zonom potrebne preglednosti (trougao preglednosti).

Slika 3. Obrazac za unos opštih informacija o putno-pružnom prelazu.

Entitet uključuje prosečan dnevni broj drumskih vozila i vozova, kao i ključne geometrijske i kinematičke parametre, kao što su: prosečne dužine, kritične udaljenosti i brzine vozila i vozova. Tako-

đe čuva period posmatranja koji se koristi za analizu nezgoda i ukupan broj zabeleženih nezgoda. Primer strukture entiteta sa njegovim atributima prikazan je na slici 4.

II. Statistički parametri

Dnevni protok vozila (λ_c) [vozila/dan]	Dnevni protok vozova (λ_v) [vozova/dan]
<input style="width: 90%;" type="text" value="807"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="23"/>
Prosečna dužina drumskog vozila (l_c) [m]	Dužina drumskog vozila preko kritičnog puta (L_c) [m]
<input style="width: 90%;" type="text" value="6.8"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="2.8"/>
Srednja brzina drumskih vozila preko putno-pružnog prelaza (v_c) [km/h]	Prosečna dužina vozova (l_v) [m]
<input style="width: 90%;" type="text" value="32"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="350"/>
Dužina železničkog vozila preko kritičnog puta (L_v) [m]	Srednja brzina vozova preko putno-pružnog prelaza (v_v) [km/h]
<input style="width: 90%;" type="text" value="5"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="70"/>
Period posmatranja (T) [godine]	Broj evidentiranih nesreća/nezgoda (n_{real})
<input style="width: 90%;" type="text" value="11"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="6"/>

Slika 4. Formular za unos statističkih parametara putno-pružnog prelaza.

Korisnički interfejs (UI) veb aplikacije je razvijen korišćenjem AngularJS-okvira i uključuje grafički interfejs zasnovan na Material Design-u [11]. Aplikacija, takođe, podržava paginaciju, omogućavajući efikasno upravljanje i vizuelizaciju velikog broja zabeleženih putno-pružnih prelaza.

Korisnici mogu da unose i pregledaju podatke za više putno-pružnih prelaza, sa opcijama sortiranja dostupnim prema izračunatoj sintetičkoj pouzda-

nosti i riziku. Međutim, najznačajniji parametri za analizu su rizik i sintetička pouzdanost, koji služe kao primarni indikatori za procenu teorijske bezbednosti svakog putno-pružnog prelaza.

Grafički interfejs razvijene veb aplikacije [9], zajedno sa reprezentativnim rezultatima dobijenim testiranjem na odabranim putno-pružnim prelazima u Infrastruktura železnice Srbije a.d., prikazan je na slici 5.

Naziv putno-pružnog prelaza	Stepen sigurnosti	Pouzdanost↓	Rizik↑
Buđanovci	Putni prelaz je pasivan i obezbeđen je saobraćajnim znacima na putu i pruži i zonom potrebne preglednosti (trougao preglednosti).	0.999617130414	0.000382869586
Brasina	Putni prelaz je pasivan i obezbeđen je saobraćajnim znacima na putu i pruži i zonom potrebne preglednosti (trougao preglednosti).	0.999839082554	0.000160917446
Kraljevci	Putni prelaz je aktivan i obezbeđen je automatskim polubranicima sa svetlosnim saobraćajnim znacima i saobraćajnim znacima na putu.	0.999908403544	0.000091596456
Štitar	Putni prelaz je aktivan i obezbeđen je branicima i saobraćajnim znacima na putu. Putnim prelazom, koji je mehanički i sa žicovodom, rukuje otpravnik vozova prilikom obezbeđenja puta vožnje.	0.999942933756	0.000057066244
Platičevo	Putni prelaz je aktivan i obezbeđen je polubranicima, svetlosnim i zvučnim signalima. Uređajem putnog prelaza upravlja se iz stanice.	0.999986629355	0.000013370645

Slika 5. Korisnički interfejs veb aplikacije i primer evaluiranih prelaza u Srbiji.

3. ZAKLJUČAK I BUDUĆI RAD

Svi rezultati predstavljeni putem korisničkog interfejsa su validirani u odnosu na već objavljeni model, potvrđujući njihovu ispravnost. Razvijena web aplikacija stoga predstavlja korisnu implementaciju predloženog heterogenog modela sistema redova čekanja [1].

Štaviše, aplikacija omogućava unos podataka ne samo za putno-pružne prelaze u Republici Srbiji, već i za bilo koji prelaz širom sveta, jer omogućava izračunavanje odgovarajućih sintetičkih indikatora pouzdanosti i rizika.

Ovaj rad predstavlja implementaciju postojećeg modela, sa primarnim ciljem poboljšanja bezbednosti na putno-pružnim prelazima i smanjenja nesreća. Dalja poboljšanja mogu se postići integracijom veštačke inteligencije i prediktivnih modela zasnovanih na TensorFlow-u [12], kao i analizom slika zasnovanom na OCR-u [13], kako bi se podržalo inteligentno otkrivanje rizika i postiglo proaktivno poboljšanje bezbednosti. saobraćaja.

LITERATURA

- [1] Pamela Ercegovac, Gordan Stojić, Miloš Kopic, Željko Stević, Feta Sinani and Ilija Tanackov: "Model for Risk Calculation and Reliability Comparison of Level Crossings" doi: 10.1007/978-981-16-3056-9_1.
- [2] D. Gross and C. M. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2008.
- [3] PostgreSQL Global Development Group, "PostgreSQL: The world's most advanced open source relational database," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>
- [4] Oracle Corporation, "Java Platform, Standard Edition Documentation," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://docs.oracle.com/javase/> Pivotal Software, Inc., "Spring Boot: Spring framework for rapid application development," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://spring.io/projects/spring-boot>
- [5] Google LLC, "Angular: Web application framework," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://angular.io/>
- [6] R. T. Fielding, "Architectural styles and the design of network-based software architectures," Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000. [Online]. Available: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf
- [7] JGraph Ltd., "diagrams.net (formerly draw.io): Online diagram editor," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://www.diagrams.net/>
- [8] Marko Ercegovac, "Web application for accident prediction at road-railway crossings," GitHub repository, Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: https://github.com/markoercegovac/road_rail_crossing
- [9] Republic of Serbia, "Regulation on technical requirements for level crossings," *Official Gazette of the Republic of Serbia*, No. 86/2016.
- [10] Material UI: React component library implementing Google's Material Design," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://mui.com/>
- [11] A. Şener, B. Ergen, and M. Toğaçar, "Fault detection from images of railroad lines using the deep learning model built with the TensorFlow library," *Turkish Journal of Science & Technology*
- [12] C. Tastimur, M. Karakose, and E. Akin, "Image processing-based level crossing detection and foreign objects recognition approach in railways," *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC)*, Special Issue, pp. 19–23, 2017.