

## VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U UPRAVLJANJU PUTNOM INFRASTRUKTUROM

Dušan Mladenović<sup>1</sup>, Miroslav Petrović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Srpsko društvo za ITS,  
d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Devellop d.o.o, Beograd, Srpsko društvo za ITS, miroslav.petrovic@devellop.com

**Rezime:** *Održavanje puteva je, u ustaljenoj tehnologiji i metodologiji, zasnovano na upotrebi dokumentacije u papirnom obliku poput projekta izvedenog stanja, uz informacije prikupljene na terenu koje odražavaju izmene nastale u međuvremenu. Proces prikupljanja i transformacije podataka u digitalnu formu prikladan za dalje analize i donošenje odluka je dugotrajan i skup, zbog značajne manuelne komponente. Tokom vremena, pojavom novih tehnologija, unapređen je način kako se neophodne informacije prikupljaju, zamenjujući čoveka u tom procesu i donoseći tako sa sobom određena poboljšanja. Veštačka inteligencija (AI) je najnoviji tehnološki trend, pa joj je, prirodno, mesto i u inteligentnim transportnim sistemima (ITS). Međutim, ako se prisetime definicije da je AI mogućnost računara da obavlja zadatke koji se uobičajeno pripisuju ljudima, postaje jasno da je veštačka inteligencija prisutnija duže nego što nam je bila prva pomisao. U radu prezentujemo nekoliko primena AI tehnologija u upravljanju putnom infrastrukturom koje se već koriste ili se očekuje njihova skorašnja primena.*

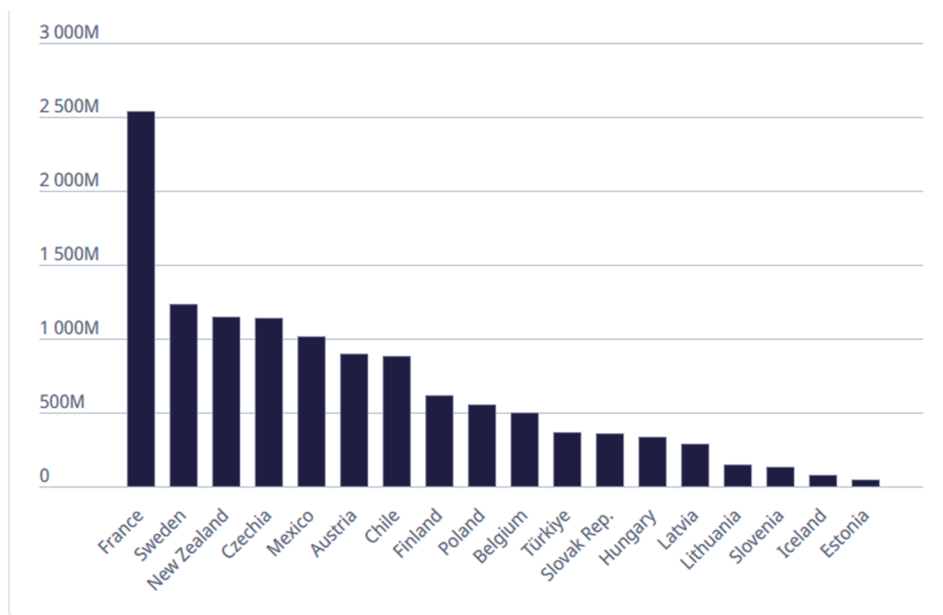
**Ključne reči:** *veštačka inteligencija (AI), inteligentni transportni sistemi (ITS), softver za upravljanje putnom infrastrukturom (RAMS), Tjuringov test*

### 1. Uvod

Poslednjih godina, mogućnosti primene veštačke inteligencije (AI) u upravljanju putnom infrastrukturom, kao i u ostalim oblastima, značajno utiču na ustaljenu praksu i poslovne procese. Neke funkcionalnosti su već primenjene u praksi, a neke se ozbiljno razmatraju, kako u konceptualnoj, tako i u pilot fazi.

Posedovanje relevantnih sveobuhvatnih, preglednih, lako dostupnih i, pre svega, validnih i preciznih podataka koji olakšavaju i unapređuju proces održavanja putne infrastrukture je izuzetno važno iz mnogo razloga. Najvažniji je, svakako, održavanje odnosno unapređivanje sveobuhvatnog nivoa bezbednosti drumskog saobraćaja za sve učesnike u saobraćaju, kako sa korisničke, tako i sa upravljačke strane. Pored toga, troškovni parametar je nešto što mora da se uzme u obzir. Cena održavanja infrastrukture putne mreže na nacionalnom nivou predstavlja značajnu budžetsku stavku u svim

zemljama (slika 1). Već ove dve stavke pokazuju i dokazuju globalno priznatu kritičnu ulogu koju održavanje putne infrastrukture ima u nacionalnim ekonomijama.



Slika 1. Godišnji budžet na nacionalnom nivou za održavanje puteva (2021) [1]

Stoga je digitalizacija u upravljanju putnom infrastrukturom upotrebom modernih softverskih rešenja - tzv. RAMS (*Road Asset Management Software*) opravdana sa stanovišta unapređenja efikasnosti, smanjenja troškova i podizanja nivoa kvaliteta i pouzdanosti, i svako novo tehnološko rešenje koje može da nađe primenu u nekom od poslovnih procesa koji sačinjavaju ove aktivnosti je više nego dobrodošlo. A glavni poslovni procesi relevantni za ovu oblast mogu da se grupišu u sledeće celine: prikupljanje, obrada i analiza podataka, te aktivnosti vezane za održavanje inventara i ažuriranje podataka.

Mogućnosti koje veštačka inteligencija sa sobom donosi, svakako nalaze primenu i u ovoj oblasti, otvarajući prostor za optimizaciju ne samo poslovnih procesa i smanjenje troškova, već i poboljšanje nivoa kvaliteta i bezbednosti putne mreže i drumskog saobraćaja uopšte, doprinevši tako efikasnom i održivom procesu upravljanja održavanjem putne infrastrukture.

## 2. Veštačka inteligencija

Formalno, međunarodna organizacija za standarde sistema veštačke inteligencije (“*AI systems*”) definiše kao „sisteme koji su osmišljeni tako da, na osnovu zadatih ciljeva definisanih od strane ljudskih bića, generišu izlaze koji predstavljaju sadržaj, prognozu, preporuku ili odluku“. Zarad ostvarenja tako zadatih ciljeva, prihvatljivo je da se koriste različite tehnike i pristupi kako bi se modelovali podaci, znanje, procesi, itd. Pri tome, primenjeni nivoi automatizacije razlikuju se od sistema do sistema. [2]

Ovakvo kompleksna definicija nastala je iz potrebe da obuhvati širok dijapazon sistema koji, na osnovu nekakve automatizacije, obavljaju zadatke koje uobičajeno obavlja ljudsko biće upotrebom kognitivnih (svesnih) intelektualnih aktivnosti, a da, sa druge strane, opstane kao primenljiva dovoljno dug vremenski period obzirom na rapidan tehnološki napredak u ovoj oblasti.

To nas, konačno, dovodi do pojednostavljenog opisa sistema na bazi veštačke inteligencije kao “onog koji korišćenjem računara obavlja intelektualne zadatke koji se uobičajeno pripisuju ljudima”. [3]

Ovo poslednje predstavlja definiciju veštačke inteligencije u internet verziji Enciklopedije Britanike u vreme nastanka ovog rada i u skladu je sa polaznim osnovama misaonih eksperimenata čoveka koji se danas smatra ocem modernog računarstva i utemeljivačem veštačke inteligencije - engleskim naučnikom Alanom Turingom: “Mogu li mašine da misle?” i testa koji je, kao nečemu prikladnijem realnom problemu, osmislio pod nazivom “Igra imitacije”, danas poznatijoj kao “Tjuringov test”. [4]

Ovaj test, u najkraćem, predstavlja eksperiment koji bi trebalo da pokaže da li se mašina može ponašati tako da se iz sadržaja samog odgovora (odnosno niza odgovora) ne može sa relevantnom sigurnošću zaključiti da li odgovore generiše ljudsko biće ili mašina.

Imajući ovakvu definiciju u vidu, svedoci smo (baš kao što je i Turing predviđao [5]) da nije prošlo mnogo vremena od kada su AI sistemi u svom blažem obliku (tzv. “slaba AI” – *weak/narrow*), dizajnirana tako da bude uspešna u specifičnim zadacima u okviru dobro definisanih parametara našla široku primenu u raznim poljima, pa i u upravljanju putnom infrastrukturom. U narednim poglavljima prezentovaćemo nekoliko karakterističnih primera koji su već u upotrebi na našim putevima.

### **3. Prikupljanje, obrada i analiza podataka**

#### *Prikupljanje*

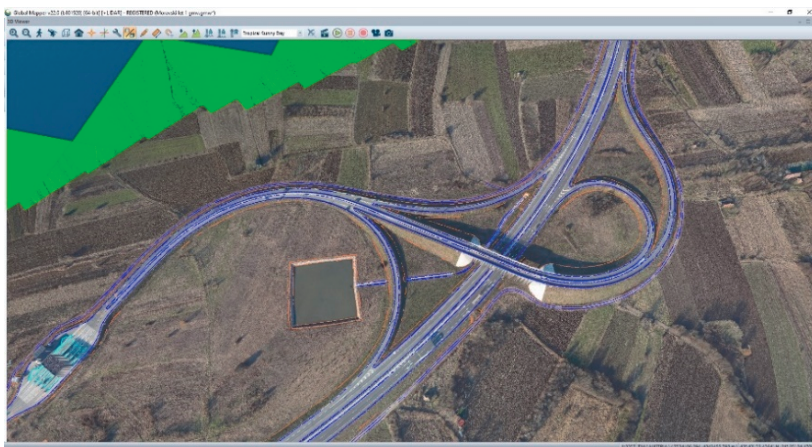
Prikupljanje detaljnih podataka sa terena o stanju puta i infrastrukture primenom savremenih tehnologija ostvaruje se korišćenjem kamera montiranih na dronove koji obezbeđuju snimke iz vazduha visoke rezolucije, dok kamere montirane na vozila prikupljaju stanje terena sa zemlje. Algoritmi na osnovu kojih rade dronovi i kamere su na bazi tzv. „slabe“ veštačke inteligencije obezbeđujući obradu velikog seta podataka za kreiranje ažurne i precizne slike o trenutnom stanju putnog inventara.

Korišćenje veštačke inteligencije omogućava kontinuirano praćenje, pružajući ažurne informacije koje su ključne za održavanje bezbednosti na putevima i integriteta infrastrukture.

Prednost ovakvog pristupa ogleda se u mogućnosti da se veliki broj informacija prikuplja automatski i dovoljno učestalo, pristupajući i udaljenim, teško pristupačnim zonama od interesa, osiguravajući da ni jedan deo putne mreže nije izostavljen.

Integracija AI u prikupljanje podataka takođe poboljšava bezbednost i efikasnost procesa. Na primer, dronovi sa AI tehnologijom mogu da se programiraju tako da prate određene putanje leta, obezbeđujući dosledno i kontinuirano prikupljanje podataka bez potrebe za ljudskom intervencijom. Prikupljanje takvih podataka starim tehnologijama često nije ni bilo moguće, a svakako u najmanju ruku visoko rizično i po pitanju izloženosti saobraćaju i po pitanju nepristupačnosti.

Primer takvog snimka iz vazduha prikazan je na Slici 2. Ovako prikupljeni i obrađeni podaci pomažu da se lako i precizno odrede dimenzije travnatih površina u putnom pojasu koje treba da se održavaju.



Slika 2. Snimak iz drona

Uređaji za snimanje koji se nalaze na automobilima igraju ključnu ulogu u proveru statusa saobraćajnih znakova, oznaka na putu i zaštitnih barijera. Ovi snimci pomažu u predviđanju rane degradacije puta, praćenju radnih zona i generisanju upozorenja za uslove koji utiču na vožnju, kao što su klizave površine. Algoritmi veštačke inteligencije analiziraju snimak u realnom vremenu, otkrivajući anomalije kao što su izbledele oznake na putu, oštećeni znakovi i potencijalne opasnosti, čime omogućavaju brzo pokretanje korektivnih aktivnosti.



Slika 3. Automatsko prepoznavanje horizontalne i vertikalne signalizacije na putu

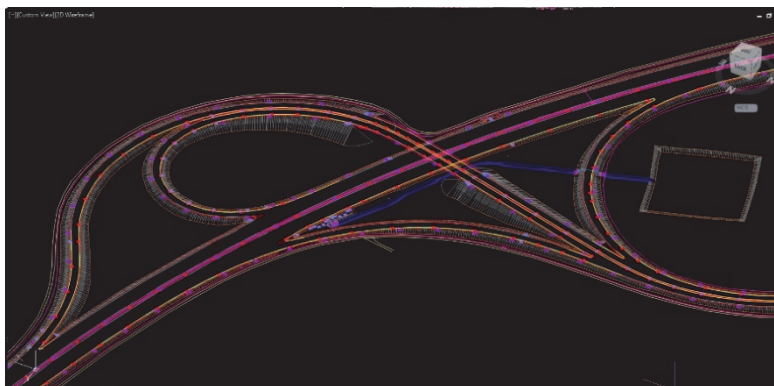
Razumno je da se predpostavi da će u narednim godinama inspekcija svakog elementa puta ostvariti AI analizom slike, kao i prikupljanjem podataka sa različitih senzora koji se mogu pratiti korišćenjem AI tehnologije. Ove tehnologije su čak i kod nas već sada u fazi testiranja na terenu (Slika 3).

#### *Obrada*

Prikupljeni podaci prolaze kroz proces automatske obrade, tokom kojeg se vrši ekstrakcija podataka od značaja – elementi putne infrastrukture kao što su saobraćajni znaci, zaštitne ograde, kanalizacioni odvodi, rasveta i sl. Proces obuhvata selekciju, lokalizaciju, kategorizaciju, klasifikaciju i atributizaciju svakog od elemenata. Ovaj proces zahteva učešće eksperta koji vrši proveru rezultata svih navedenih aktivnosti. Poluautomatski softver pomaže u početnom sortiranju i kategorizaciji podataka, značajno smanjujući vreme i trud koji su potrebni za ručnu obradu. Međutim, ljudski unos ostaje ključan, posebno za unos preciznih detalja u AutoCAD crteže i proveru svih rezultata prethodne automatske obrade. AutoCAD okruženje predstavlja uobičajeno radno okruženje za eksperte koje im omogućava da ovaj deo obrade izvedu na što efikasniji način. Ova kombinacija osigurava da su podaci tačni, precizni i detaljni, pružajući pouzdanu osnovu za kasniju analizu i donošenje odluka i mogu se svrstati u mašinsko učenje – treniranje modela.

Dok veštačka inteligencija i tehnologija ubrzavaju proces, konačnu reč u ovoj fazi imaju eksperti – inženjeri, prevashodno saobraćajne i/ili građevinske struke. Inženjeri potvrđuju podatke obrađene veštačkom inteligencijom, obezbeđujući njihovu tačnost i prilagođavajući se na osnovu svoje stručnosti i zapažanja na terenu. Uz verifikaciju prikupljenih i obrađenih podataka, oni tako proveravaju i projektnu dokumentaciju – projekat izvedenog stanja. Na taj način je kroz simbiozu ljudi i veštačke inteligencije obezbeđen najviši kvalitet i pouzdanost podataka.

Primeru radi, šahtovi, odvodne kapije, svetla i saobraćajni znaci su predstavljeni kao tačke u AutoCAD pregledu (slika 4). Ograde, mostovi, tuneli i kanali su prikazani kao linije, a poligoni predstavljaju područja za zadatke kao što je košenje trave. Ova strukturirana reprezentacija u AutoCAD-u osigurava da su podaci organizovani na način koji je istovremeno intuitivan i koristan za dalju analizu i donošenje odluka. Inženjeri takođe mogu da koriste napredne funkcije AutoCAD-a za obavljanje detaljnih analiza, kao što je izračunavanje površine određenih sekcija, procena uticaja planiranih aktivnosti održavanja i simulacija promena toka saobraćaja usled izgradnje ili popravke.



*Slika 4. Prikaz obrade podataka u AutoCAD-u*

Poluautomatizovana faza obrade takođe uključuje provere kvaliteta i validacije kako bi se obezbedio integritet podataka. AI algoritmi upućuju novosakupljene podatke sa postojećim zapisima, označavajući nedoslednosti koje eksperti treba da verifikuju. Obradeni podaci se zatim standardizuju i formatiraju za laku integraciju sa drugim sistemima i aplikacijama, olakšavajući dalje korišćenje podataka.

Drugi važan aspekt obrade podataka je analiza stanja kolovoznih elemenata. Donedavno su većinu podataka analizirali ljudi, a zbog slabog kvaliteta slike i lošeg osvetljenja u tunelima i ispod mostova, na primer, to je bio težak i rizičan posao koji je zahtevao dosta vremena.

Nova tehnologija veštačke inteligencije koristeći snimke prikupljene dronovima i drugim senzorima, može da uoči i napravi slike pukotina u betonu. Sistem veštačke inteligencije zatim analizira slike kako bi uočio sve potencijalne probleme i upozorio ljude da istraže izbliza. Jedan važan faktor je da se slike uvek snimaju iz istog ugla i udaljenosti, što pomaže u poređenju stanja tokom vremena. Dronovi mogu svaki put da lete unapred određenim putanjama, a kamere postavljene na vozilo imaju konzistentan ugao u snimanju puta. Međutim, sve ovo bi bilo beskorisno ako se podaci ne obrađuju od strane veštačke inteligencije, a zatim se sortiraju po važnosti koju ljudi mogu istražiti.

### *Analiza*

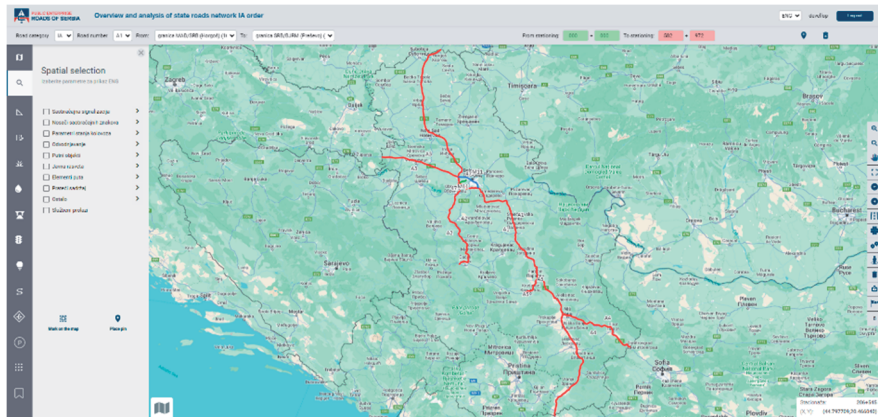
Treća faza podrazumeva automatizovano izdvajanje obrađenih podataka iz AutoCAD-a i njihov uvoz u bazu podataka. Ovaj korak koristi veštačku inteligenciju da pojednostavi prenos informacija, minimizirajući rizik od grešaka do kojih može doći ručnim unosom podataka. U ovoj fazi se identifikuju razlike u odnosu na postojeće stanje, dodaju nedostajući podaci odnosno ažuriraju postojeći. Ovaj korak osigurava praćenje promena putne infrastrukture tokom vremena. Praćenje stanja na putevima tokom vremena omogućava obradu podataka za predviđanje održavanja, što je od suštinskog značaja za proaktivno upravljanje imovinom. Algoritmi veštačke inteligencije koji se koriste u ovoj fazi mogu da otkriju obrasce i trendove u podacima, pružajući uvid u dugoročne performanse i degradaciju putnih sredstava.

Automatizovani proces ekstrakcije osigurava da se održi konzistentnost podataka i da se sve nedoslednosti odmah uklone. Korišćenjem veštačke inteligencije za ovaj zadatak minimiziramo ljudsku grešku i osiguravamo da podaci ostanu tačni i ažurni. Baza podataka služi kao centralno skladište za sve podatke, što olakšava preuzimanje i korišćenje za različite aplikacije. Struktura baze podataka je dizajnirana da podrži složene upite i analize, omogućavajući korisnicima da izvuku kvalitetne uvide i donesu odluke zasnovane na relevantnim podacima i činjenicama.

Pored skladištenja neobrađenih podataka, baza podataka takođe može da sadrži obrađene i agregirane podatke, pružajući različite nivoe detalja za različite zainteresovane strane. Na primer, zbirni izveštaji visokog nivoa mogu da se generišu za donosioce odluka, dok detaljni skupovi podataka mogu biti dostupni inženjerima i analitičarima. Baza podataka se takođe može integrisati sa drugim sistemima, kao što su geografski informacioni sistemi (GIS) i sistemi za planiranje resursa preduzeća (ERP), olakšavajući sveobuhvatno upravljanje imovinom i operativno planiranje.

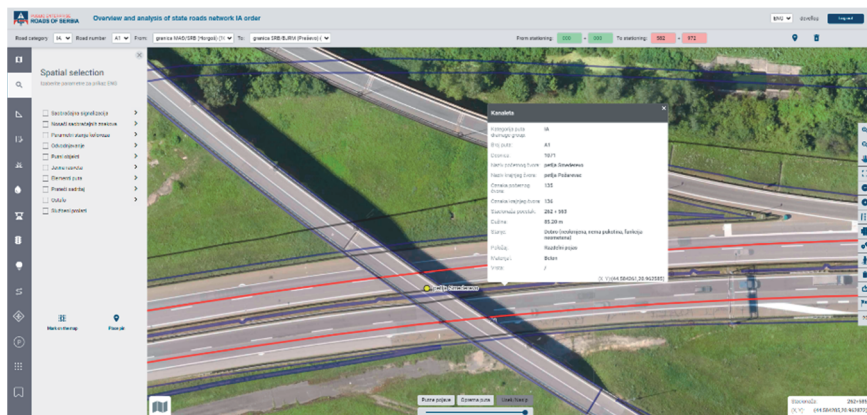
U završnoj fazi, sačuvani podaci se koriste putem *web* aplikacije i raznih izveštaja. *Web* aplikacija obezbeđuje korisnički interfejs za zainteresovane strane za pristup podacima i interakciju sa njima, nudeći funkcionalnosti kao što su vizuelizacije,

upiti i izveštavanje u realnom vremenu (slika 5). Izveštaji generisani na osnovu podataka smeštenih u bazi nude uvid u stanje na putevima, lokacije imovine i potrebe održavanja, podržavajući informisano donošenje odluka i efikasnu alokaciju resursa.



Slika 5. Korisnički interfejs aplikacije

Prateća web aplikacija je GIS (geografski informacioni sistem) tipa, dizajnirana tako da je mapa predstavlja primarni interfejs, što olakšava vizuelnu pretragu i pronalaženje elemenata u prostoru. Povećanjem nivoa zumiranja (slika 6), korisnici mogu da vide relevantne detalje sa prikupljenih i obrađenih ortofoto snimaka. Zahvaljujući mehanizmu ažuriranja, korisnici uvek imaju pristup i najnovijim pa samim tim i najažurnijim podacima. Intuitivni interfejs omogućava filtriranje i pretragu podataka na osnovu različitih kriterijuma, kao što su tip sredstva, stanje i istorija održavanja.



Slika 6. Detaljni podaci o elementima infrastrukture

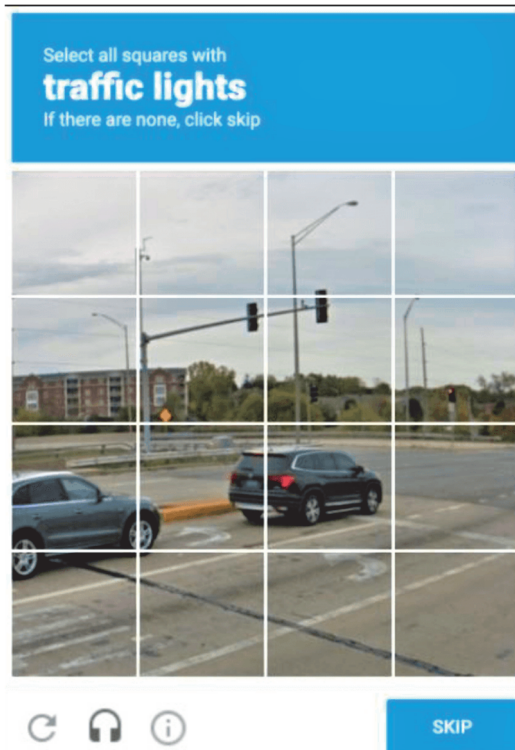
Web aplikacija podržava saradnju i komunikaciju između različitih zainteresovanih strana. Korisnici mogu da dele podatke, izveštaje i uvide, olakšavajući koordinisane napore i informisano donošenje odluka. Na primer, ekipe za održavanje mogu pristupiti najnovijim podacima i uputstvima sa terena, obezbeđujući da imaju sve

informacije koje su im potrebne za efikasno obavljanje svojih zadataka. Donosioci odluka mogu da koriste aplikaciju da pregledaju metriku učinka, prate napredak i dodeljuju resurse na osnovu uvida zasnovanih na podacima.

#### 4. Prediktivno održavanje

Kritični aspekt upravljanja imovinom puteva je održavanje, gde primena AI donosi transformativnu ulogu. Algoritmi prediktivnog održavanja analiziraju prikupljene podatke da bi predvideli potencijalne probleme pre nego što postanu kritični. Ispitujući obrasce habanja puteva i uslova okoline, AI može predvideti kada i gde će održavanje verovatno biti potrebno. Ovaj proaktivni pristup ne samo da produžava životni vek putnih sredstava, već i smanjuje troškove održavanja i minimizira poremećaje u saobraćaju.

Prediktivno održavanje se oslanja na istorijske podatke i praćenje u realnom vremenu kako bi se identifikovali potencijalni problemi pre nego što postanu kritični. Na primer, analizom obrazaca habanja puta, gustine saobraćaja i vremenskih uslova, AI može predvideti kada će za određenu sekciju puta biti neophodno održavanje. Ovo omogućava pravovremene intervencije, sprečavajući da manji problemi prerastu u velike popravke. Sposobnost preciznog predviđanja potreba za održavanjem osigurava da se resursi koriste efikasno, a aktivnosti održavanja se planiraju i izvode uz minimalno ometanje saobraćaja i učesnika u saobraćaju.



Slika 7. CAPTCHA test sa saobraćajnim znacima



Algoritmi veštačke inteligencije koji se koriste za prediktivno održavanje kontinuirano se uče i poboljšavaju tokom vremena. Kako se više podataka prikuplja i analizira, algoritmi postaju bolji u identifikovanju obrazaca i predviđanju budućih problema. Ova sposobnost prilagođavanja osigurava da sistem prediktivnog održavanja ostane efikasan i relevantan, čak i kada se uslovi na putu i faktori okoline menjaju. Sistem takođe može da pruži preporuke za optimizaciju rasporeda održavanja i određivanje prioriteta zadataka na osnovu ozbiljnosti i hitnosti uočenih odnosno anticipiranih problema.

Ovakva prediktivna analitika, zasnovana na velikoj količini podataka, stvara prostor za naprednija rešenja u primeni AI, tzv. jaki odnosno generalni (*strong/general*) AI sistemi koji su dizajnirani da se adaptiraju kroz učenje i primenu stečenog znanja. Na taj način kompletan softver za upravljanje putnom infrastrukturom – RAMS dobija potpuno novu, savremenu dimenziju.

Kad je Tjuringov test u pitanju, eklatantan primer predstavljaju grupe tzv. CAPTCHA (*Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart*) testova [6], osmišljenih tako da na automatski način zaključče da li je trenutni korisnik čovek ili računar. Jedan od standardnih testova u upotrebi jeste zahtev da se selektuju slike sa saobraćajnim znacima. Očigledno je da su trenutna AI tehnološka rešenja uveliko nadmašila ovakve zadatke (slika 7).

## 5. Zaključak

Integracija veštačke inteligencije u upravljanje inventarom puteva poboljšava efikasnost, tačnost i prediktivne sposobnosti čitavog procesa. Od prikupljanja i obrade podataka do automatizovanog izdavanja i praktičnog korišćenja, tehnologije vođene veštačkom inteligencijom obezbeđuju da se putnim sredstvima efikasno upravlja, otvarajući put za pametnije i održivije upravljanje infrastrukturom. Sposobnost predviđanja i sprečavanja problema pre nego što postanu kritični je značajna prednost, osiguravajući da putna sredstva ostanu u optimalnom stanju i obezbeđujući sigurniju i pouzdaniju transportnu mrežu.

Primena AI u upravljanju putnim sredstvima takođe ima šire implikacije na urbano planiranje i razvoj. Pružajući tačne i blagovremene podatke, AI pomaže upravljačima puteva da donose informisane odluke o infrastrukturnim investicijama, prioritetima održavanja i raspodeli resursa. Ovakva rešenja, u celini ili delimično, primenljiva su i na upravljanje procesom održavanja drugih tipova infrastrukture. Ovo dovodi do efikasnijeg korišćenja javnih sredstava i boljih rezultata za celokupnu zajednicu. Štaviše, usvajanje AI tehnologija može podstaći inovacije i saradnju između različitih zainteresovanih strana, uključujući vladine agencije, privatnih kompanija i istraživačkih institucija.

**Zahvalnica:** Autori se zahvaljuju kolegama iz preduzeća „VIA inženjering“ d.o.o., „Devellop“ d.o.o. i Javnog preduzeća „Putevi Srbije“ na slikama i podacima iz aplikacija koji su iskorišćeni prilikom izrade ovog rada.

## Literatura

[1] Indicators, Infrastructure maintenance, Road, 2021. Available at:

<https://www.oecd.org/en/data/indicators/infrastructure-maintenance.html>

- [2] ISO/IEC 22989 (2022) “Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology”, Edition 1.
- [3] Encyclopædia Britannica, Inc. Corporate Site. Available at: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>
- [4] Turing, A.M. (1950). “Computing machinery and intelligence”. *Mind*, 59, 433-460.
- [5] Oppy, Graham and David Dowe, "The Turing Test", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.), Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/turing-test/>
- [6] von Ahn, Luis; Blum, Manuel; Hopper, Nicholas J.; Langford, John (May 2003). "CAPTCHA: Using Hard AI Problems for Security", *Advances in Cryptology - EUROCRYPT 2003: International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 2656. pp. 294–311.

**Abstract:** *Initially, road maintenance process has been driven by data gathered in an old-fashioned way: it has been a combination of paper-based evidence (as-built documentation) and information collected on site (actual conditions). Process of collecting and transforming data into a format appropriate for analysis and decision making actions has been long lasting and expensive, with manual component in between, which, at one side, increased probability for error and, on the other side, extended process duration and costs. Artificial intelligence (AI) is last years the hottest buzzword. However, as AI is the ability of a computer to perform task(s) commonly associated with the intellectual processes typical to humans, reality is that AI is in intelligent transport systems (ITS) for the longer time than we initially thought. In this paper we present few examples of AI applied in road asset management already in use or ready to be used.*

**Keywords:** *artificial intelligence (AI), intelligent transport systems (ITS), road asset management software (RAMS), Turing test*

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
IN ROAD ASSET MANAGEMENT**  
Dušan Mladenović, Miroslav Petrović