

UTICAJ IOT I AI TEHNOLOGIJA NA RAZVOJ AUTONOMNIH VOZILA, KVALITET ODRŽAVANJA I IZAZOVI U OKVIRU INDUSTRIJE 4.0

IMPACT OF IOT AND AI TECHNOLOGIES ON THE DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS VEHICLES, MAINTENANCE QUALITY, AND CHALLENGES WITHIN INDUSTRY 4.0

Klisura Fuad
IPI Zenica, Bosna i Hercegovina

Marinko Aleksić
Razvojno-istraživački centar Polix Berane, Crna Gora

REZIME

Razvoj autonomnih vozila oslanja se na IoT i AI tehnologije, koje unapređuju kvalitet održavanja i efikasnost vozila. IoT omogućava povezivanje vozila u inteligentne mreže, dok AI analizira podatke u realnom vremenu, predviđa otkaze i optimizuje troškove održavanja. U okviru Industrije 4.0, ove tehnologije ne samo da poboljšavaju sigurnost i pouzdanost, već i omogućavaju standardizaciju i primjenu prediktivnog održavanja, čime se smanjuju neplanirani otkazi i produžava vijek trajanja vozila. Ovaj članak istražuje uticaj IoT i AI na kvalitet održavanja autonomnih vozila, uz poseban fokus na optimizaciju resursa, usklađivanje sa međunarodnim standardima i integraciju u pametne transportne sisteme budućnosti.

Ključne riječi: Autonomna vozila, Prediktivno održavanje, IoT (Internet stvari), AI (Vještačka inteligencija), Industrija 4.0

ABSTRACT

The development of autonomous vehicles relies on IoT and AI technologies, which enhance the quality of maintenance and vehicle efficiency. IoT enables the connection of vehicles into intelligent networks, while AI analyzes data in real-time, predicts failures, and optimizes maintenance costs. Within Industry 4.0, these technologies not only improve safety and reliability, but also enable standardization and the application of predictive maintenance, thereby reducing unplanned breakdowns and extending the lifespan of vehicles. This article explores the impact of IoT and AI on the maintenance quality of autonomous vehicles, with a special focus on resource optimization, alignment with international standards, and integration into smart transport systems of the future.

Key words: Autonomous Vehicles, Predictive Maintenance, IoT (Internet of Things), AI (Artificial Intelligence), Industry 4.0

1. UVOD

Četvrta industrijska revolucija (Industrija 4.0) predstavlja fundamentalnu digitalnu transformaciju industrije, označavajući novu eru u proizvodnji, logistici i uslužnim djelatnostima. Industrija 4.0 se može definisati kao integracija kibernetičko-fizičkih sistema u proizvodne procese, kombinujući napredne tehnologije kao što su Internet stvari (IoT), vještačka inteligencija (AI), automatizacija, robotika, analitika podataka, računarstvo u oblaku (cloud computing) i 3D štampa. Ova revolucija ne obuhvata samo tehnologije, već i promjene u poslovnim modelima, organizaciji rada i interakciji čovjek-mašina, te je usko povezana s globalnim trendovima kao što su održivost, personalizacija i promjenjiva očekivanja korisnika. [1,2] U poslednjim decenijama, ubrzani razvoj autonomnih vozila donosi integraciju IoT uređaja i AI algoritama, čime vozila postaju sposobna da prikupljaju podatke u realnom vremenu o svojim performansama, uslovima na putu i stanju ključnih sistema. Ove tehnologije omogućavaju napredne funkcije poput prediktivnog održavanja, gdje vozila mogu prepoznati potencijalne otkaze i pravovremeno inicirati servisne intervencije.[3] Time se optimizuju resursi, smanjuje broj neplaniranih popravki i povećava pouzdanost sistema. Ovaj rad istražuje uticaj IoT i AI tehnologija na kvalitet održavanja autonomnih vozila, s posebnim naglaskom na prediktivne metode održavanja i optimizaciju troškova. Primjena ovih tehnologija ne samo da povećava efikasnost i dugovječnost vozila, već i doprinosi poboljšanju bezbjednosti i standardizacije u savremenoj mobilnosti.

2. IOT UREĐAJI U VOZILU

Internet of Things (IoT) označava mrežu međusobno povezanih uređaja koji mogu prikupljati, slati i razmjenjivati podatke putem interneta. Ovi uređaji imaju senzore, softver i internet konekciju, omogućavajući im da automatizuju procese i donose odluke na osnovu prikupljenih informacija. U automobilskoj industriji, IoT predstavlja revoluciju omogućavajući transformaciju vozila u "pametne uređaje na točkovima".

Arhitektura IoT sistema u vozilu tipično uključuje slijedeće komponente: senzore, komunikacione module, procesorske jedinice, oblak-cloud platforme, aplikacije i korisnički interfejs. Različite vrste senzora prikupljaju podatke o vozilu i okolini (npr. senzori temperature motora, pritiska u gumama, brzine, ubrzanja, svjetlosti, kiše, parkirni senzori, kamere, LiDAR, radar). Komunikacioni moduli omogućavaju bežičnu komunikaciju vozila s internetom i drugim uređajima putem različitih protokola (npr. 4G/5G, Wi-Fi, Bluetooth, V2X). Lokalne procesorske jedinice u vozilu obrađuju podatke u realnom vremenu za brze reakcije i smanjenje latencije. Centralizovane platforme u oblaku pohranjuju i analiziraju velike količine podataka, omogućavaju daljinsko praćenje, prediktivno održavanje i ažuriranja softvera. Mobilne aplikacije i infotainment sistemi omogućavaju vozačima i serviserima pristup podacima i funkcionalnostima IoT sistema.[3]

IoT je u početku korišten u industriji (pametne fabrike, logistika), ali s razvojem bežičnih mreža i senzora postao je ključan i u automobilskoj industriji. Prvi koraci uključivali su jednostavne telemetrijske sisteme, ali danas se IoT koristi za povećanje sigurnosti vožnje gdje napredni sistemi pomažu vozaču ili služe za autonomnu vožnju. Druga primjena je u oblasti održavanja vozila i prediktivnoj dijagnostici, te Over-The-Air (preko vazduha) ažuriranja softvera. Veoma važna funkcija je i komunikacija.

Automobili su danas "pametni uređaji na točkovima", gdje IoT omogućava bolju kontrolu, sigurnost i efikasnost vožnje. Internet omogućava razmjenu podataka u realnom vremenu, što je ključno za mnoge IoT funkcije u vozilima. Bez interneta, automobil može koristiti senzore i AI lokalno, ali gubi pristup važnim informacijama iz spoljnog svijeta, kao što su ažurirane karte, saobraćajne informacije ili mogućnost slanja podataka servisu za prediktivno održavanje.

Da bismo bolje razumjeli razliku između klasičnih senzora i IoT sistema u automobilima, važno je razmotriti ključne razlike u načinu komunikacije, procesiranju podataka, funkcionalnostima

i integraciji, te povezanosti sa spoljnim uređajima. Klasični senzori u vozilima komuniciraju lokalno, direktno s kontrolnim jedinicama, za razliku od IoT senzora koji koriste internet za daljinsku komunikaciju i prenos podataka u oblak (cloud). Klasični senzori obavljaju jednostavnu detekciju i lokalne funkcije, poput automatskog paljenja svjetala, dok IoT senzori koriste AI i mašinsko učenje za inteligentnu analizu i prediktivne funkcije, poput predlaganja optimalne brzine. Klasični senzori su dio specifičnih sistema, poput ABS-a, nasuprot IoT sensorima koji su integrisani u šire mreže, omogućujući komunikaciju s drugim sistemima i mrežama. Za razliku od klasičnih senzora koji nemaju eksternu povezanost, IoT senzori omogućuju povezivanje s mobilnim aplikacijama, oblakom i drugim vozilima. IoT senzori šalju podatke proizvođaču za analizu trendova i prediktivno održavanje, dok klasični senzori prikazuju podatke samo unutar vozila.[4]

3. IOT UREĐAJI I PREDIKTIVNO ODRŽAVANJE

IoT uređaji u autonomnim vozilima neprekidno prikupljaju ključne podatke o performansama, od stanja motora i kočionih sistema do temperatura i razine goriva. Ovi senzorski podaci se



Slika 1: Nadzorna ploča za prediktivno održavanje. Prikaz sučelja za praćenje stanja vozila i predviđanje potencijalnih kvarova pomoću IoT podataka i AI.

zatim obrađuju u oblaku ili na lokalnoj analitičkoj platformi, gdje u kombinaciji s AI tehnologijama omogućuju prediktivno održavanje. Algoritmi mašinskog učenja, poput regresionih modela i neuronskih mreža, analiziraju istorijske podatke kako bi prepoznali obrasce koji ukazuju na potencijalne otkaze. Na primjer, analiza temperature motora i vibracija može predvidjeti nadolazeći otkaz pumpe za vodu.

Uspješnost prediktivnog održavanja mjeri se kroz smanjenje vremena zastoja, troškova održavanja, povećanje raspoloživosti vozila i optimizaciju korištenja resursa. Konkretni primjer je BMW serije 5 (G30) s BMW ConnectedDrive i Teleservices sistemima, gdje senzori kontinuirano prate stanje

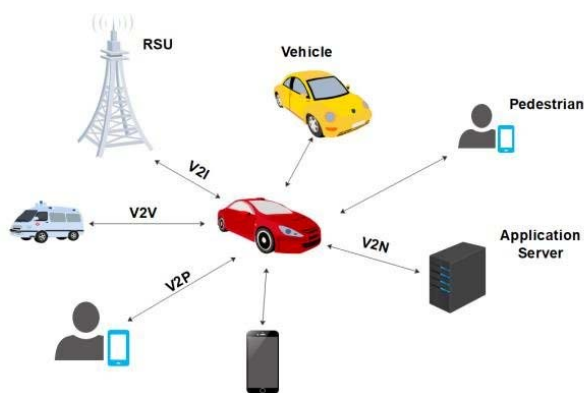
ključnih komponenti i automatski šalju upozorenja vozaču i servisu u slučaju anomalija.[5] Jedan od glavnih izazova u održavanju vozila je optimizacija troškova održavanja. Tradicionalni sistemi održavanja često uključuju visoke troškove zbog neplaniranih otkaza i čestih intervencija. IoT i AI omogućavaju preduzetnicima i proizvođačima da optimizuju ove troškove. Kroz prediktivno održavanje, koje omogućava bolje upravljanje životnim ciklusom vozila, mogu se smanjiti troškovi neplaniranih popravki i povećati efikasnost resursa. AI omogućava bolju analizu podataka o otkazima i predviđa kada su zamjene dijelova potrebne, dok IoT omogućava praćenje stanja vozila u stvarnom vremenu, što smanjuje potrebu za skupim hitnim popravkama.[1]

4. KAKO VOZILA POSTAJU AUTONOMNA UZ POMOĆ IOT I AI TEHNOLOGIJA?

Autonomno vozilo je vozilo koje može raspoznati okolinu u kojoj se nalazi i kretati se kroz nju uz vrlo malo ili bez ljudskog upravljanja. Postoji SAE standard za nivo autonomije vozila, koji definiše šest nivoa, od 0 (bez automatizacije) do 5 (potpuna autonomija). Svaki nivo opisuje stepen u kojem vozilo može preuzeti zadatke vožnje. Ključne tehnologije za autonomnu vožnju

su: senzori, IoT i V2X komunikacija, AI algoritmi i Edge computing. Koriste se različiti senzori, kao što su npr. laserski senzori za precizno 3D mapiranje okoline LiDAR (Light Detection and Ranging - Detekcija svjetla i dometa). Kamere i ultrazvučni senzori su vizualni senzori za prepoznavanje objekata, saobraćajnih znakova, traka i pješaka, odnosno za detekciju prepreka na malim udaljenostima, posebno korisni pri parkiranju.

IoT i V2X komunikacija može biti različita. V2V (Vehicle-to-Vehicle) je kada vozila komuniciraju međusobno radi koordinacije i izbjegavanja sudara. V2I (Vehicle-to-Infrastructure) kada vozila komuniciraju sa saobraćajnom infrastrukturom (semafori, saobraćajni znaci) za optimizaciju protoka i sigurnosti. V2P (Vehicle-to-Pedestrian) kada vozila detektuju i komuniciraju s pješacima i drugim ranjivim učesnicima u saobraćaju. V2N (Vehicle-to-Network) kada se vozila povezuju s mrežom za pristup cloud-oblak uslugama, ažuriranjima karata, saobraćajnim informacijama i prediktivnom održavanju.



Slika 1. Vrste V2X komunikacije. Prikaz različitih oblika komunikacije vozila s okolinom: vozilo-vozilo (V2V), vozilo-infrastruktura (V2I), vozilo-pješak (V2P) i vozilo-mreža (V2N).

AI Algoritmi služe za percepciju okoline, planiranje rute i putanje, navigaciju, upravljanje vozilom i mašinsko učenje, koje se odnosi na kontinuirano unapređenje performansi autonomne vožnje analizom podataka i iskustava. Edge Computing se odnosi na obradu podataka unutar vozila, blizu izvora podataka, smanjuje latenciju i omogućava brze reakcije autonomnog sistema, što je ključno za sigurnost.[6,7,8]

5. KVALITET I STANDARDI ODRŽAVANJA U KONTEKSTU INDUSTRIJE 4.0

Industrija 4.0 redefiniše održavanje vozila kroz simbiozu IoT, AI i međunarodnih standarda, stvarajući ekosistem gdje se kvalitet, efikasnost i održivost nadograđuju u realnom vremenu. Primjena standarda poput ISO 9001 i ISO/TS 16949 postaje intuitivnija zahvaljujući automatizovanom praćenju kvaliteta u svakoj fazi proizvodnog i održavalačkog ciklusa, dok ISO 55000 unapređuje upravljanje imovinom praćenjem životnog ciklusa dijelova optimizujući resurse i smanjujući troškove.[9,10,11] Bezbjednost ovih podataka prikupljenih IoT sensorima, kritična za integritet procesa oslanja se i na ISO 27001, čime se obezbjeđuje zaštita od sajber prijetnji.

Pored ovih standarda relevantni standardi za autonomna vozila i Industriju 4.0 uključuju: ISO/SAE 21434 (Kibernetička sigurnost u automobilskoj industriji), ISO 26262 (Funkcionalna sigurnost cestovnih vozila), AUTOSAR (Automotive Open System Architecture - Standardizovana softverska arhitektura za automobilske sisteme), OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture - platformski nezavisna arhitektura) i MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) Standardi za interoperabilnost i razmjenu podataka između različitih uređaja i sistema u industrijskom okruženju. Interoperabilnost i standardi za razmjenu podataka kao što su OPC UA i MQTT su ključni za integraciju heterogenih sistema u Industriji 4.0, omogućujući neprekidnu analizu podataka i primjenu PDCA ciklusa (Plan-Do-Check-Act: Planiraj-uradi-provjeri-djeluj) za kontinuirano poboljšanje kvaliteta održavanja.[12,13,14]

Konačno, Industrija 4.0 ne mijenja samo mehaniku održavanja – ona stvara holistički model

gdje se tehnološke inovacije, globalni standardi i ljudska ekspertiza prepliću, čime se kvalitet transformiše iz statičkog zahtjeva u živu, adaptivnu praksu. Ovaj kontekst ne garantuje samo pouzdanost vozila, već postavlja temelje za budućnost gdje su bezbjednost, održivost i inovativnost nerazdvojni.

6. IZAZOVI I BEZBJEDNOSNI RIZICI

Implementacija IoT i AI tehnologija u autonomnim vozilima donosi brojne izazove i bezbjednosne rizike:

- Autonomna vozila postaju potencijalne mete kibernetičkih napada. Ranjivosti u softveru, komunikacionim protokolima ili oblak-cloud platformama mogu biti iskorištene za preuzimanje kontrole nad vozilom, krađu podataka ili izazivanje nesreća.
- Preciznost senzora može biti narušena lošim vremenskim uslovima (magla, snijeg, kiša), ili tehničkim otkazima.
- Nedovoljno razvijena zakonska regulativa za autonomna vozila u mnogim zemljama, pitanja odgovornosti u slučaju nesreće, etička pitanja vezana za donošenje odluka autonomnih sistema u kritičnim situacijama.
- Uticaj na zapošljavanje u servisnoj industriji, potreba za prekvalifikacijom radne snage, troškovi implementacije i održavanja naprednih tehnologija.[15,16,17, 18]

Jedan od primjera kako bi autonomna vozila mogla postati mete sajber napada dolazi iz konteksta izraelsko-Hezbollah sukoba. U modernom ratovanju i obavještajnim operacijama, hakovanje vozila može se koristiti za napade na VIP osobe, ometanje njihovih vozila, preuzimanje kontrole nad sistemima ili čak izazivanje saobraćajnih nesreća putem malicioznog softvera. Izraelske bezbjednosne agencije već su istraživale potencijalne ranjivosti IoT sistema u automobilima kao dio šireg spektra kibernetičkih pretnji.

U scenariju u kojem bi VIP osoba koristila autonomno vozilo opremljeno IoT sistemima, napadač bi mogao preuzeti kontrolu nad vozilom putem ranjivosti u softveru, blokirati signal GPS-a ili čak onesposobiti ključne bezbjednosne sisteme. Ovo naglašava potrebu za jačim kibernetičkim zaštitama, end-to-end enkripcijom i neprekidnim nadzorom AI sistema kako bi se spriječili takvi napadi.[19]

7. ZAKLJUČAK

IoT i AI tehnologije fundamentalno transformišu paradigmu održavanja autonomnih vozila u okviru Industrije 4.0. Povezani senzori omogućavaju prikupljanje podataka u realnom vremenu, dok AI analizira te podatke kako bi unapredio prediktivno održavanje, smanjujući broj neplaniranih otkaza i optimizujući troškove. Implementacija ovih tehnologija doprinosi usklađivanju sa međunarodnim standardima kvaliteta, povećava sigurnost i efikasnost autonomnih vozila i omogućava prelazak sa reaktivnog na proaktivni model održavanja. Daljnja istraživanja trebaju se usmjeriti na uticaj autonomnih vozila na servisnu industriju, razvoj standarda i regulativa, etičke aspekte primjene AI u autonomnim vozilima, te sigurnost i privatnost podataka.

8. REFERENCES

- [1] Wang, S., & Xu, G. (2022). "The Impact of Industry 4.0 on Automotive Predictive Maintenance". *Journal of Smart Manufacturing*.
- [2] Gubbiotti, M., & Barros, L. (2020). "Artificial Intelligence in Industry 4.0: A Review". *Journal of Industrial Engineering*.
- [3] Zhang, Y., & Lee, W. (2023). "The Impact of IoT and AI on the Automotive Industry". *Journal of Smart Mobility*, 15(2), 45-56.
- [4] Müller, J. (2020). "The Role of IoT in the Automotive Industry". *Journal of IoT and Industrial Automation*.
- [5] BMW Connected Drive, <https://www.bmw.co.uk/en/shop/ls/cp/connected-drive>

- [6] Geely Global. (2025). "Full-Domain AI for Smart Vehicles". Geely Press Release. Retrieved from <https://global.geely.com>.
- [7] Volvo Cars. (2025). "Volvo EX90: Revolutionizing Autonomous Driving with LiDAR and AI". Volvo Press Release. Retrieved from <https://www.volvocars.com>.
- [8] Tesla Motors. (2024). "Tesla Autopilot and AI: The Future of Autonomous Vehicles". Tesla Report. Retrieved from <https://www.tesla.com>.
- [9] ISO 9001:2015 - Sistemi upravljanja kvalitetom. Međunarodni standard.
- [10] ISO 16949:2016 - Sistemi upravljanja kvalitetom u automobilskoj industriji.
- [11] ISO 55000 - Standard za upravljanje imovinom i održavanje.
- [12] OECD (2023). "Policy Recommendations for Smart Vehicle Maintenance Systems". OECD Technology Report.
- [13] ISO/SAE 21434 Drumska vozila—Standard za inženjering kibernetičke sigurnosti
- [14] ISO 26262 – Standard za funkcionalnu sigurnost cestovnih vozila
- [15] Smith, J. (2024). "Challenges of IoT and AI Integration in Autonomous Vehicles". International Journal of Automotive Technology, 12(1), 102-113.
- [16] Lee, J., & Kao, H. (2018). "Cyber-Physical Systems and Smart Manufacturing: Applications and Perspectives". IEEE Transactions on Automation Science and Engineering.
- [17] Rajkumar, R., et al. (2019). "Cyber-Physical Systems in the Automotive Industry". IEEE Computer Society.
- [18] Chui, M., Manyika, J., & Miremadi, M. (2018). "The Future of AI and IoT in Automotive Maintenance". McKinsey & Company Report.
- [19] Lauren Menzie (2024). The Role of Cyber Operations in Middle East Conflict, <https://www.teneo.com/insights/articles/the-role-of-cyber-operations-in-middle-east-conflict/>