

SAVREMENE TEHNOLOGIJE U FUNKCIJI PAMETNE MOBILNOSTI I ODRŽIVOG RAZVOJA TRANSPORTNIH SISTEMA / MODERN TECHNOLOGIES IN THE FUNCTION OF SMART MOBILITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TRANSPORTATION SYSTEMS

Amira Trako, BA¹, Doc. dr. Nehad Gaši¹, Dina Delić, BA¹

¹Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Aleja Konzula – Meljanac bb, Travnik, BiH
e-mail: amira.trako@iu-travnik.com; nehad.gaši@iu-travnik.com; dina.vrebac@iu-travnik.com

Pregledni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501354>

UDK/UDC 656.02/.05:004.9]:502.131.1

Sažetak

Savremeni razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija značajno utiče na transformaciju mobilnosti i transportnih sistema, posebno u urbanim sredinama. Povećanje broja stanovnika, porast broja vozila te intenziviranje saobraćajnih gužvi i problema zagađenja zraka nameću potrebu za implementacijom naprednih tehnoloških rješenja koja omogućavaju efikasnije upravljanje saobraćajem i resursima. U tom kontekstu, tehnologije poput bežičnih senzorskih mreža (Wireless Sensor Networks – WSN), Interneta stvari (Internet of Things – IoT) i vještačke inteligencije (Artificial Intelligence – AI) predstavljaju osnovu razvoja pametnih transportnih sistema. Njihova primjena omogućava prikupljanje, obradu i analizu podataka u realnom vremenu, čime se stvaraju uslovi za optimizaciju saobraćajnih tokova, smanjenje zastoja i unapređenje sigurnosti učesnika u saobraćaju. Mobilnost je usko povezana sa konceptom održivog razvoja, s obzirom na to da transportni sektor predstavlja jedan od glavnih izvora emisije štetnih gasova. Primjenom inteligentnih sistema moguće je smanjiti negativan uticaj transporta na životnu sredinu, unaprijediti energetske efikasnost i doprinijeti poboljšanju kvaliteta života stanovništva. Uprkos brojnim prednostima, implementacija ovih tehnologija nosi sa sobom određene izazove koji zahtijevaju detaljnu analizu.

Ključne riječi: mobilnost, pametni transportni sistemi, bežične senzorske mreže (WSN), Internet stvari (IoT), vještačka inteligencija (AI), održivi razvoj, pametni gradovi

JEL klasifikacija: O33, O18, C45

Abstract

The modern development of information and communication technologies significantly influences the transformation of mobility and transport systems, especially in urban areas. The increase in population, the growing number of vehicles, as well as the intensification of traffic congestion and air pollution, create the need for the implementation of advanced technological solutions that enable more efficient traffic and resource management. In this context, technologies such as Wireless Sensor Networks (WSN), the Internet of Things (IoT), and Artificial Intelligence (AI) represent the foundation for the development of smart transport systems. Their application enables the collection, processing, and analysis of data in real time, thereby creating conditions for optimizing traffic flows, reducing congestion, and improving the safety of road users. Mobility is closely related to the concept of sustainable development, as the transport sector is one of the main sources of greenhouse gas emissions. By applying intelligent systems, it is possible to reduce the negative impact of transport on the environment, improve energy efficiency, and contribute to enhancing the quality of life of the population. Despite the numerous advantages, the implementation of these technologies also brings certain challenges that require detailed analysis.

Keywords: mobility, smart transport systems, wireless sensor networks (WSN), Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), sustainable development, smart cities

JEL classification: O33, O18, C45

UVOD

Savremeni razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija značajno utiče na unapređenje mobilnosti i transportnih sistema, posebno u urbanim sredinama⁹⁶. Porast broja stanovnika, povećanje broja vozila i sve izraženiji problemi saobraćajnih gužvi i zagađenja zraka zahtijevaju primjenu naprednih tehnoloških rješenja za efikasnije upravljanje saobraćajem. U tom kontekstu, tehnologije kao što su bežične senzorske mreže (WSN), Internet stvari (IoT) i vještačka inteligencija (AI) omogućavaju prikupljanje i analizu podataka u realnom vremenu, čime se doprinosi optimizaciji saobraćajnih tokova, smanjenju zastoja i povećanju sigurnosti učesnika u saobraćaju⁹⁷. Primjena ovih tehnologija doprinosi i konceptu održivog razvoja, smanjenjem negativnog uticaja transporta na okoliš i unapređenjem energetske efikasnosti. Ipak, njihova implementacija nosi određene tehničke, sigurnosne i ekonomske izazove koji zahtijevaju dalja istraživanja.⁹⁸ Cilj ovog rada je prikazati ključne tehnologije u funkciji pametne mobilnosti, kao i analizirati njihove prednosti i izazove u savremenim transportnim sistemima.

1. TEHNOLOŠKI OKVIR ZA UNAPREĐENJE MOBILNOSTI

Razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija značajno mijenja način funkcionisanja savremenih transportnih i mobilnih sistema. Korištenjem naprednih digitalnih rješenja omogućava se prikupljanje i obrada podataka u realnom vremenu, automatizacija procesa te efikasnije upravljanje resursima, što direktno doprinosi smanjenju saobraćajnih gužvi, povećanju sigurnosti učesnika u saobraćaju i smanjenju negativnog uticaja na životnu sredinu. U tom kontekstu, posebnu ulogu imaju tehnologije kao što su bežične senzorske mreže (Wireless Sensor Networks – WSN), Internet stvari (Internet of Things – IoT) i vještačka inteligencija (Artificial Intelligence – AI), koje predstavljaju temelj razvoja pametnih transportnih sistema. Njihova integracija omogućava efikasnu komunikaciju između vozila, infrastrukture i korisnika, čime se stvaraju uslovi za razvoj inteligentnih i održivih urbanih sistema. U narednim poglavljima biće analizirane ključne tehnologije i pristupi koji doprinose unapređenju mobilnosti, uz poseban fokus na njihove tehničke karakteristike, mogućnosti primjene, kao i ekonomske i društvene implikacije.

2. SAVREMENI PRISTUPI RAZVOJU INTELIGENTNE MOBILNOSTI

Savremeni sistemi mobilnosti prolaze kroz značajne transformacije usljed razvoja naprednih informaciono-komunikacionih tehnologija. Procesi digitalizacije, automatizacije i integracije inteligentnih sistema omogućavaju efikasnije upravljanje saobraćajem, smanjenje zagušenja te povećanje sigurnosti i kvaliteta života u urbanim sredinama. U tom smislu, nove tehnologije predstavljaju ključni faktor u razvoju pametnih gradova i inteligentnih transportnih sistema.⁹⁹ Savremena mobilnost sve više se zasniva na prikupljanju i analizi velikih količina podataka u realnom vremenu. Integracijom senzorskih sistema, komunikacionih mreža i naprednih algoritama omogućava se donošenje odluka zasnovanih na podacima, što doprinosi efikasnijem upravljanju saobraćajnim tokovima i optimizaciji korištenja resursa. Poseban značaj imaju tehnologije koje omogućavaju bežičnu komunikaciju i razmjenu informacija između različitih komponenti sistema. U okviru savremenih rješenja izdvajaju se bežične senzorske mreže, Internet stvari, sistemi zasnovani na vještačkoj inteligenciji, kao i cloud, edge i fog computing paradigme.¹⁰⁰

⁹⁶ UN (2018). *World Urbanization Prospects*

⁹⁷ Al-Fuqaha, A. et al. (2015). *Internet of Things: A Survey*.

⁹⁸ Jain, R. (2011). *The Art of Computer Systems Performance Analysis*.

⁹⁹ UN (2018). *World Urbanization Prospects*

¹⁰⁰ Al-Fuqaha, A. et al. (2015). *Internet of Things: A Survey*

Njihova integracija omogućava stvaranje inteligentnih okruženja u kojima sistemi autonomno prikupljaju, analiziraju i razmjenjuju informacije, čime se unapređuje upravljanje mobilnošću. Implementacija ovih tehnologija zahtijeva rješavanje brojnih izazova, uključujući integraciju sa postojećom infrastrukturom, kao i osiguranje pouzdanosti, sigurnosti i energetske efikasnosti sistema. Zbog toga su istraživanja usmjerena ka razvoju rješenja koja omogućavaju optimalno funkcionisanje uz minimalnu potrošnju resursa.

U nastavku se analiziraju ključne tehnologije koje doprinose razvoju mobilnosti, s posebnim osvrtom na bežične senzorske mreže.

2.1. BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE U TRANSPORTNIM SISTEMIMA

Bežične senzorske mreže predstavljaju jednu od ključnih komponenti savremenih pametnih sistema.¹⁰¹ One se sastoje od velikog broja senzorskih čvorova raspoređenih u određenom prostoru, čiji je zadatak prikupljanje podataka iz okoline. U kontekstu mobilnosti, senzori omogućavaju mjerenje parametara kao što su gustina saobraćaja, brzina kretanja vozila, nivo zagađenja i slične relevantne veličine.

Osnovno ograničenje WSN sistema odnosi se na resurse senzorskih čvorova. Ova ograničenja uključuju mali kapacitet baterije, ograničenu procesorsku snagu i skromne memorijske kapacitete. Navedeni faktori značajno utiču na performanse sistema i predstavljaju jedan od glavnih izazova u njihovoj primjeni.

2.2. INTERNET STVARI KAO OSNOVA POVEZANE MOBILNOSTI

Internet stvari omogućava međusobno povezivanje različitih uređaja u jedinstven komunikacioni sistem.¹⁰² U transportnim sistemima to obuhvata vozila, semafore, senzore, kamere i upravljačke centre. Zahvaljujući ovoj tehnologiji omogućena je kontinuirana razmjena podataka između svih elemenata sistema. Takva povezanost omogućava automatizaciju upravljanja saobraćajem, smanjenje zagušenja i povećanje efikasnosti transportnih sistema. Primjer primjene predstavlja pametna semaforska signalizacija koja se prilagođava trenutnim uslovima u saobraćaju.

2.3. PRIMJENA VJEŠTAČKE INTELEGENCIJE U OPTIMIZACIJI SAOBRAĆAJA

Vještačka inteligencija ima ključnu ulogu u analizi podataka prikupljenih putem senzorskih i IoT sistema. Primjenom algoritama mašinskog i dubokog učenja moguće je identifikovati obrasce u podacima i donositi optimalne odluke.¹⁰³ AI sistemi omogućavaju predikciju saobraćajnih gužvi, optimizaciju ruta i smanjenje vremena putovanja. Time se direktno doprinosi povećanju efikasnosti i sigurnosti transportnih sistema.

2.4. INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI I UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM

Pametni transportni sistemi predstavljaju integraciju informaciono-komunikacionih tehnologija u transportnu infrastrukturu s ciljem unapređenja sigurnosti, efikasnosti i održivosti saobraćaja.¹⁰⁴ ITS sistemi koriste podatke iz senzora i drugih izvora za donošenje odluka u realnom vremenu. Njihova primjena uključuje adaptivno upravljanje semaforima, inteligentno upravljanje parkiranjem i informisanje vozača o stanju na cestama.

¹⁰¹ Akyildiz, I. F. et al. (2002). *Wireless Sensor Networks: A Survey*

¹⁰² Al-Fuqaha, A. et al. (2015). *IoT Survey*.

¹⁰³ Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*

¹⁰⁴ UN (2018). *Intelligent Transport Systems Report*.

Integracijom sa IoT i AI tehnologijama omogućena je obrada velikih količina podataka i automatsko prilagođavanje rada sistema.

2.5. EDGE I FOG COMPUTING U SISTEMIMA MOBILNOSTI

Edge i fog computing paradigme predstavljaju važan iskorak u razvoju pametnih sistema. Za razliku od centralizovanog cloud pristupa, obrada podataka se vrši bliže njihovom izvoru. U kontekstu mobilnosti, to omogućava smanjenje latencije, brže donošenje odluka i smanjenje opterećenja mreže. Ovakav pristup je posebno značajan u situacijama koje zahtijevaju trenutnu reakciju, poput detekcije incidenata ili upravljanja saobraćajem. Dodatno, značaj novih tehnologija u funkciji mobilnosti ogleda se i u njihovoj sposobnosti da omoguće integraciju različitih izvora podataka u jedinstven sistem za donošenje odluka. Kombinovanjem podataka iz senzora, mobilnih uređaja, GPS sistema i drugih izvora, moguće je dobiti detaljnu sliku o stanju u saobraćaju u realnom vremenu. Ovakav pristup omogućava ne samo reakciju na trenutne uslove, već i predviđanje budućih situacija na osnovu analize istorijskih podataka.

Posebno važan aspekt predstavlja uloga komunikacionih mreža, koje omogućavaju brzu i pouzdanu razmjenu podataka između različitih komponenti sistema. Razvoj tehnologija kao što su 5G i buduće 6G mreže dodatno unapređuje kapacitete prenosa podataka, smanjuje latenciju i omogućava povezivanje velikog broja uređaja.¹⁰⁵ Time se stvaraju uslovi za implementaciju naprednih aplikacija u oblasti pametne mobilnosti, uključujući autonomna vozila i inteligentne sisteme upravljanja saobraćajem.

Također, sve veći značaj dobija koncept integrisanih platformi koje objedinjuju različite tehnologije u jedinstven sistem. Takve platforme omogućavaju centralizovano upravljanje i koordinaciju različitih funkcionalnosti, čime se povećava efikasnost i smanjuje kompleksnost sistema. Integracija WSN, IoT i AI tehnologija predstavlja osnovu za razvoj ovakvih naprednih platformi. Važno je naglasiti da implementacija ovih tehnologija ne donosi samo tehničke benefite, već ima i širi društveni uticaj. Poboljšanje mobilnosti doprinosi smanjenju vremena putovanja, povećanju dostupnosti usluga i unapređenju kvaliteta života građana. Istovremeno, smanjenje saobraćajnih zastoja doprinosi smanjenju stresa i povećanju sigurnosti učesnika u saobraćaju.

3. OGRANIČENJA I IZAZOVI IMPLEMENTACIJE SAVREMENIH RJEŠENJA

Iako primjena savremenih tehnologija donosi značajne prednosti u unapređenju mobilnosti i razvoju pametnih transportnih sistema, njihova implementacija prati niz izazova koji mogu ograničiti njihovu efikasnost i širu primjenu. Uvođenje naprednih tehnoloških rješenja zahtijeva odgovarajuću infrastrukturu, značajna finansijska ulaganja, kao i prilagođavanje postojećih sistema novim tehnološkim zahtjevima. Iz tog razloga, implementacija ovih rješenja mora biti pažljivo planirana i podržana odgovarajućim strategijama razvoja. Izazovi se mogu posmatrati kroz više međusobno povezanih aspekata, uključujući tehničke, sigurnosne, ekonomske, društvene i regulatorne faktore. Tehnički aspekti obuhvataju ograničenja sistema u pogledu energetske resursa, procesorske snage, pouzdanosti komunikacije i skalabilnosti, što je posebno izraženo u sistemima zasnovanim na bežičnim senzorskim mrežama i distribuiranim arhitekturama. Kako broj povezanih uređaja raste, povećava se i kompleksnost upravljanja sistemom, što zahtijeva razvoj efikasnih algoritama za optimizaciju rada i potrošnje resursa. Sigurnosni izazovi predstavljaju jedan od ključnih faktora u implementaciji ovih tehnologija, s obzirom na to da sistemi postaju sve izloženiji različitim vrstama cyber napada, neovlaštenom pristupu podacima i manipulaciji informacijama.

¹⁰⁵ Zhang, Y. et al. (2019). *5G Networks and Beyond*

U tom kontekstu, primjena mehanizama kao što su enkripcija, autentifikacija i sistemi za detekciju upada postaje neophodna kako bi se osigurala pouzdanost i integritet sistema, kao i zaštita privatnosti korisnika. Ekonomski aspekti takođe predstavljaju značajnu prepreku, jer implementacija savremenih rješenja zahtijeva visoka početna ulaganja, kao i kontinuirane troškove održavanja i nadogradnje sistema. Ovi faktori mogu ograničiti njihovo prihvatanje, posebno u manje razvijenim sredinama ili organizacijama sa ograničenim budžetom. Pored tehničkih i ekonomskih izazova, društveni faktori igraju važnu ulogu u uspješnoj implementaciji novih tehnologija. Prihvatanje od strane korisnika, njihova spremnost na promjene i prilagođavanje novim sistemima, kao i nivo digitalne pismenosti, direktno utiču na uspješnost implementacije. Dodatno, regulatorni okvir i usklađenost sa zakonima i standardima predstavljaju važan segment, jer jasno definisana pravila omogućavaju sigurnu i kontrolisanu primjenu tehnologija. U kontekstu daljeg razvoja, posebno je važno istaći izazove vezane za održavanje i upravljanje složenim sistemima. Kako se broj povezanih uređaja kontinuirano povećava, raste i potreba za naprednim metodama monitoringa, upravljanja i optimizacije sistema. Također, energetska efikasnost ostaje ključni izazov, naročito u sistemima sa ograničenim resursima, gdje je neophodno razvijati rješenja koja omogućavaju dugotrajan i stabilan rad uređaja uz minimalnu potrošnju energije.

4. INTEGRACIJA WSN I VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U ANALIZI MOBILNOSTI

Integracija vještačke inteligencije u bežične senzorske mreže omogućava značajno unapređenje performansi sistema.¹⁰⁶ Primjena AI omogućava optimizaciju potrošnje energije, adaptivno rutiranje podataka, detekciju anomalija i inteligentnu obradu podataka.

Primjena višeslojne arhitekture omogućava efikasnu raspodjelu funkcija unutar sistema, dok multi-agentni sistemi omogućavaju decentralizovano donošenje odluka.

4.1. MODELI VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PREDIKCIJI SAOBRAĆAJA

Jedna od najznačajnijih primjena vještačke inteligencije u mobilnosti odnosi se na predikciju saobraćajnih tokova. Korištenjem historijskih podataka i trenutnih informacija, AI modeli mogu predvidjeti buduće stanje saobraćaja.¹⁰⁷

U ovom radu posebno je istaknuta uloga algoritama mašinskog i dubokog učenja, kao što su neuronske mreže i LSTM modeli, koji su sposobni analizirati vremenske serije i prepoznati obrasce u podacima.

Primjena ovih modela omogućava:

- predviđanje gužvi
- optimizaciju ruta
- smanjenje vremena putovanja

4.2. MULTI-AGENTNI PRISTUPI U UPRAVLJANJU SAOBRAĆAJEM

Multi-agentni sistemi (MABS) predstavljaju napredan pristup u kojem više autonomnih agenata međusobno komunicira i sarađuje kako bi postigli zajednički cilj. U kontekstu mobilnosti, svaki agent može predstavljati:

- vozilo
- semafor
- senzorski čvor

¹⁰⁶ Akyildiz, I. F. et al. (2002). *Wireless Sensor Networks: A Survey*. Computer Networks

¹⁰⁷ Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

Ovakav pristup omogućava decentralizovano donošenje odluka i veću fleksibilnost sistema. To znači da sistem može reagovati na promjene u realnom vremenu bez potrebe za centralnom kontrolom.

5. ULOGA PAMETNE MOBILNOSTI U ODRŽIVOM RAZVOJU

Primjena novih tehnologija u mobilnosti ima značajan doprinos održivom razvoju. Optimizacijom saobraćaja smanjuje se vrijeme zadržavanja vozila, što direktno utiče na smanjenje emisije CO₂ i drugih štetnih gasova. Pametni transportni sistemi omogućavaju efikasnije korištenje energije i resursa, kao i unapređenje javnog prevoza. Time se smanjuje potreba za individualnim korištenjem vozila, što dodatno doprinosi zaštiti životne sredine.¹⁰⁸ Osim ekoloških benefita, pametna mobilnost doprinosi i ekonomskom razvoju, jer smanjuje troškove transporta i povećava produktivnost.

5.1. EKOLOŠKI EFEKTI I SMANJENJE EMISIJA

Transportni sektor predstavlja jedan od glavnih izvora zagađenja zraka. Primjena pametnih tehnologija omogućava smanjenje emisije štetnih gasova kroz optimizaciju saobraćaja i smanjenje zastoja. Pametna mobilnost također podstiče korištenje alternativnih oblika transporta, kao što su javni Ekonomske i društvene koristi prevoz, bicikli i električna vozila. Time se dodatno smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu.¹⁰⁹

5.2. EKONOMSKE I DRUŠTVENE KORISTI

Osim ekoloških aspekata, pametna mobilnost ima i značajne ekonomske i društvene benefite. Smanjenje gužvi i optimizacija transporta dovode do smanjenja troškova i povećanja produktivnosti. Također, unapređenje transportnih sistema doprinosi boljoj dostupnosti usluga, povećanju sigurnosti i kvalitetu života građana.

5.3. BUDUĆI TRENDOWI I RAZVOJNE PERSPEKTIVE

U budućnosti se očekuje dalji razvoj pametnih transportnih sistema kroz integraciju novih tehnologija kao što su:

- autonomna vozila
- 6G mreže
- napredni AI modeli
- digitalni blizanci (digital twins)

Ove tehnologije će dodatno unaprijediti mobilnost i omogućiti razvoj potpuno autonomnih i održivih transportnih sistema.

6. DISKUSIJA I SMJERNICE ZA DALJI RAZVOJ

Analiza primjene novih tehnologija u funkciji mobilnosti pokazuje da integracija bežičnih senzorskih mreža, Interneta stvari i vještačke inteligencije značajno doprinosi unapređenju efikasnosti transportnih sistema. Međutim, uspješna implementacija ovih tehnologija zahtijeva sveobuhvatan pristup koji uključuje tehničke, organizacione i regulatorne aspekte. Jedan od ključnih zaključaka jeste da se najveći efekti postižu integracijom više tehnologija, a ne njihovom izolovanom primjenom.¹¹⁰

¹⁰⁸ OECD (2019). *Transport and Environment Report*

¹⁰⁹ OECD (2019). *Transport and Environment Report*.

¹¹⁰ Al-Fuqaha, A. et al. (2015). *Internet of Things: A Survey*. IEEE Communications Surveys & Tutorials.

Kombinacija WSN, IoT i AI omogućava stvaranje inteligentnih sistema koji mogu autonomno prikupljati, analizirati i koristiti podatke u realnom vremenu. Na taj način se postiže veći nivo automatizacije i preciznosti u upravljanju saobraćajem. Dodatno, značajnu ulogu ima i razvoj infrastrukture koja podržava ove tehnologije. Ulaganje u komunikacione mreže nove generacije, kao što su 5G i buduće 6G mreže, predstavlja osnovu za razvoj naprednih aplikacija u oblasti mobilnosti. Bez adekvatne infrastrukture, puni potencijal ovih tehnologija ne može biti iskorišten. Također, važno je istaći da uspješna implementacija zavisi i od saradnje između različitih aktera, uključujući državne institucije, privatni sektor i akademsku zajednicu. Samo kroz interdisciplinarni pristup moguće je razviti održiva i dugoročna rješenja.

7. OGRANIČENJA I PREPORUKE ZA UNAPREĐENJE SISTEMA

Iako primjena savremenih tehnologija u oblasti mobilnosti donosi značajne prednosti, njihova implementacija nije bez određenih ograničenja koja mogu uticati na brzinu razvoja i nivo efikasnosti ovih sistema. Analiza postojećih rješenja pokazuje da se najveći izazovi odnose na tehničke, ekonomske, sigurnosne i organizacione aspekte. Jedno od ključnih ograničenja odnosi se na visoke troškove implementacije naprednih sistema, uključujući infrastrukturu za bežične senzorske mreže, IoT uređaje i platforme za obradu podataka. Ovi troškovi mogu predstavljati značajnu prepreku, posebno u zemljama i regionima sa ograničenim budžetskim mogućnostima. Pored početnih ulaganja, značajni su i troškovi održavanja, nadogradnje i upravljanja sistemima. Sa tehničkog aspekta, jedan od najvećih izazova predstavlja interoperabilnost između različitih sistema i tehnologija. Različiti proizvođači i standardi često otežavaju integraciju komponenti u jedinstven sistem, što može dovesti do smanjenja efikasnosti i povećanja kompleksnosti upravljanja. U tom smislu, razvoj i primjena jedinstvenih standarda predstavljaju ključni korak ka unapređenju kompatibilnosti sistema. Dodatno, sigurnosni aspekt predstavlja posebno važan izazov. Povećanjem broja povezanih uređaja raste i površina napada, što sistem čini podložnijim cyber napadima i neovlaštenom pristupu podacima. Zbog toga je neophodno kontinuirano unapređenje sigurnosnih mehanizama, uključujući primjenu naprednih metoda enkripcije, autentifikacije i zaštite podataka. Također, važno je istaknuti i izazove vezane za upravljanje velikim količinama podataka. Savremeni sistemi generišu ogromne količine informacija u realnom vremenu, što zahtijeva napredne metode obrade i skladištenja podataka. U tom kontekstu, primjena cloud, edge i fog computing pristupa predstavlja rješenje za efikasnije upravljanje resursima, ali istovremeno uvodi dodatnu kompleksnost sistema. Na osnovu navedenih ograničenja, moguće je definisati niz preporuka koje mogu doprinijeti uspješnijoj implementaciji i daljem razvoju ovih tehnologija. Prije svega, neophodno je ulaganje u razvoj standardizovanih rješenja koja omogućavaju bolju interoperabilnost između različitih sistema i uređaja. Također, potrebno je kontinuirano ulagati u razvoj sigurnosnih mehanizama kako bi se osigurala zaštita podataka i stabilnost sistema. Poseban fokus treba biti na razvoju adaptivnih sigurnosnih rješenja koja se mogu prilagođavati novim prijetnjama.¹¹¹ Dalje, razvoj energetski efikasnih tehnologija predstavlja jedan od ključnih prioriteta, posebno u kontekstu bežičnih senzorskih mreža gdje je vijek trajanja baterije ograničen faktor. Optimizacija potrošnje energije i primjena novih tehnologija za upravljanje resursima mogu značajno produžiti operativni vijek sistema. Neophodno je i jačanje saradnje između različitih sektora, uključujući akademsku zajednicu, industriju i državne institucije. Ovakva saradnja omogućava brži razvoj inovacija, kao i njihovu uspješnu primjenu u praksi. Konačno, kontinuirano obrazovanje i obuka kadrova predstavljaju važan faktor u implementaciji novih tehnologija. Razumijevanje savremenih sistema i njihovih mogućnosti omogućava efikasnije korištenje i upravljanje, čime se postiže maksimalan efekat njihove primjene.

¹¹¹ Shi, W. et al. (2016). *Edge Computing: Vision and Challenges*. IEEE Internet of Things Journal.

ZAKLJUČAK

Nove tehnologije predstavljaju ključni faktor u transformaciji savremenih transportnih sistema i razvoju pametne i održive mobilnosti. Integracija bežičnih senzorskih mreža, Interneta stvari i vještačke inteligencije omogućava efikasnije upravljanje saobraćajem, optimizaciju resursa te smanjenje negativnog uticaja transporta na životnu sredinu. Primjena ovih tehnologija doprinosi povećanju sigurnosti, smanjenju zagušenja i unapređenju kvaliteta života u urbanim sredinama, čime se direktno podržava koncept održivog razvoja. Međutim, njihova implementacija zahtijeva adekvatnu infrastrukturu, značajna finansijska ulaganja, kao i rješavanje sigurnosnih i tehničkih izazova. U budućnosti se očekuje dalji razvoj inteligentnih transportnih sistema kroz integraciju naprednih komunikacionih tehnologija i modela zasnovanih na vještačkoj inteligenciji. Poseban značaj imaće razvoj 5G i 6G mreža, kao i naprednih analitičkih sistema, koji će omogućiti potpuno autonomno i efikasno upravljanje mobilnošću u pametnim gradovima.

LITERATURA

1. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). *Wireless sensor networks: A survey*. IEEE Communications Magazine, 40(8), 102–114.
2. Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). *The Internet of Things: A survey*. Computer Networks, 54(15), 2787–2805.
3. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
4. Khanna, A., & Kaur, S. (2020). *Intelligent Transportation Systems*. Springer.
5. Zheng, Y., Capra, L., Wolfson, O., & Yang, H. (2014). *Urban computing: Concepts, methodologies, and applications*. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 5(3), 1–55.
6. Wang, F.-Y. (2010). *The emergence of intelligent transportation systems: A new paradigm*. IEEE Intelligent Systems, 25(6), 18–22.
7. Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. Wiley.
8. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645–1660.
9. Nguyen, D. C., Ding, M., Pathirana, P. N., & Seneviratne, A. (2021). *6G Internet of Things: A comprehensive survey*. IEEE Access, 9, 35951–35988.
10. Litman, T. (2020). *Evaluating transportation equity*. Victoria Transport Policy Institute.