



UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET



BApp Fuad Hodžić

**TRANSFORMACIJA URBANIH PROSTORA: VJEŠTAČKA
INTELIGENCIJA U PAMETNIM GRADOVIMA**

MASTER RAD

Podgorica, 2025. godine

UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

BApp Fuad Hodžić

**TRANSFORMACIJA URBANIH PROSTORA: VJEŠTAČKA
INTELIGENCIJA U PAMETNIM GRADOVIMA**

MASTER RAD

Podgorica, 2025. godine

PODACI I INFORMACIJE O STUDENTU

Ime i prezime: Fuad Hodžić

Datum i mjesto rođenja: 01.10.2000. godine, Podgorica, Crna Gora

Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina završetka studija: Studijski program Primijenjenog računarstva, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, 180 ECTS kredita, 2022. godine

INFORMACIJE O MASTER RADU

Naziv master studija: Master studije primijenjenog računarstva

Naslov rada: Transformacija urbanih prostora: vještačka inteligencija u pametnim gradovima

Fakultet na kojem je rad odbranjen: Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore

UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA

Datum prijave master rada: 28.03.2024. godine

Datum sjednice Vijeća na kojoj je prihvaćena tema i mentor: 16.05.2024. godine

Komisija za ocjenu/odbranu rada: 1. Prof. dr Žarko Zečević, ETF Podgorica, predsjednik,
2. Prof. dr Nikola Žarić, ETF Podgorica, mentor,
3. Doc. dr Slavica Tomović, ETF Podgorica, član.

Datum odbrane: _____

Izjava o autorstvu

Potpisani: Fuad Hodžić

Broj indeksa/upisa: 31/22

Izjavljujem

da je master rad pod nazivom

"Transformacija urbanih prostora: vještačka inteligencija u pametnim gradovima"

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predloženi master rad ni u cjelini ni u djelovima nije bio predložen za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih ustanova visokog obrazovanja,
- da su rezultati korektno navedeni, i
- da nijesam povrijedio/la autorska i druga prava intelektualne svojine koja pripadaju trećim licima.

U Podgorici, 25.11.2025. godine

Potpis magistranda

Fuad Hodžić

ZAHVALNICA

Zahvalan sam svojoj porodici na podršci, strpljenju i vjeri u moj uspjeh tokom studiranja i izrade ovog rada. Cijenim svaku ohrabrujuću riječ i razumijevanje u periodima najvećih obaveza i odricanja.

Zahvalan sam mentoru prof. dr Nikoli Žariću na stručnom vođstvu, korisnim sugestijama i vremenu posvećenom mom istraživanju.

Cijenim doprinos nastavnog i administrativnog osoblja Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, kao i podršku kolega i prijatelja, čije su ideje, komentari i ohrabrenje doprinijeli kvalitetu rada.

Zahvalan sam i članovima komisije koji će svojom stručnošću ocijeniti ovaj rad.

Podgorica, 2025.
Fuad Hodžić

APSTRAKT

Predmet istraživanja obuhvata analizu uloge vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora, fokusirajući se na implementaciju u pametne gradove.

Uključujući različite metode, kao što su metoda analize, metoda sinteze, metoda indukcije, metoda apstrakcije i metoda generalizacije, ovaj rad usvaja holistički pristup proučavanju fenomena. Kombinacija ovih metoda doprinosi sveobuhvatnom i dubinskom pristupu istraživačkom pitanju, što rezultira najtačnijim i najpouzdanijim podacima. Ovaj pristup omogućava istraživaču da sagleda različite aspekte fenomena i izvuče zaključke na osnovu sveobuhvatnog skupa podataka, čime se osigurava visok nivo relevantnosti i primjenljivosti stečenog znanja.

Sprovedeno istraživanje identifikovalo je osnovne izazove i prepreke vezane za implementaciju vještačke inteligencije u pametnim gradovima, uključujući pitanja privatnosti, etike, sigurnosti, te finansijske i infrastrukturne izazove. Takođe, analizirane su konkurentne prednosti i nedostaci primjene vještačke inteligencije u različitim područjima pametnih gradova poput saobraćaja, energetske efikasnosti, sigurnosti, kvaliteta životne sredine i drugih. Identifikovane su potencijalne inovacije i napretci tehnologije u području pametnih gradova, uključujući integraciju s drugim tehnologijama poput Interneta stvari (IoT), blockchaina, 5G mreža i sličnih. Takođe, identifikovani su budući smjerovi razvoja pametnih gradova i modela saradnje te integracije tehnologija radi stvaranja održivih urbanih prostora.

Naučni doprinos ovog istraživanja leži u sveobuhvatnom pregledu primjene vještačke inteligencije u pametnim gradovima, analizi izazova i prepreka, te u identifikaciji budućih pravaca razvoja. Rad obogaćuje postojeća istraživanja pružajući detaljan uvid u konkretne primjere primjene vještačke inteligencije u urbanim prostorima i razmatrajući uticaje na društvo, ekonomiju i životnu sredinu. Takođe, istraživanje otkriva mogućnosti za buduća istraživanja u oblasti pametnih gradova i pruža smjernice za dalji razvoj tehnoloških inovacija i urbanih politika.

Ključne riječi: pametni gradovi, vještačka inteligencija, urbani prostor, rasvjeta, senzori

ABSTRACT

The subject of the research includes the analysis of the role of artificial intelligence in the transformation of urban spaces, focusing on implementation in smart cities.

Including various methods, such as analysis method, synthesis method, induction method, abstraction method and generalization method, this paper adopts a holistic approach to the study of the phenomenon. The combination of these methods contributes to a comprehensive and in-depth approach to the research question, resulting in the most accurate and reliable data. This approach allows the researcher to look at different aspects of the phenomenon and draw conclusions based on a comprehensive set of data, thus ensuring a high level of relevance and applicability of the acquired knowledge.

The research conducted identified key challenges and obstacles related to the implementation of artificial intelligence in smart cities, including issues of privacy, ethics, security, and financial and infrastructure challenges. Also, the competitive advantages and disadvantages of applying artificial intelligence in different areas of smart cities such as traffic, energy efficiency, safety, environmental quality and others were analyzed. Potential innovations and technology advancements in the field of smart cities are identified, including integration with other technologies such as the Internet of Things (IoT), blockchain, 5G networks and similar. Also, future directions for the development of smart cities and models of cooperation and integration of technologies for the creation of sustainable urban spaces were identified.

The scientific contribution of this research lies in the comprehensive review of the application of artificial intelligence in smart cities, the analysis of challenges and obstacles, and in the identification of future directions of development. The work enriches existing research by providing a detailed insight into specific examples of the application of artificial intelligence in urban areas and considering the impacts on society, the economy and the environment. Also, the research reveals opportunities for future research in the field of smart cities and provides guidelines for the further development of technological innovations and urban policies.

Keywords: smart cities, artificial intelligence, urban space, lighting, sensors

SADRŽAJ

UVOD.....	1
1. PAMETNI GRADOVI	5
1.1. Definicija pametnih gradova i njihova svrha	5
1.2. Pregled razvoja pametnih gradova u svijetu	9
1.3. Uloga vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora	16
2. VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA: OSNOVNI KONCEPTI	20
2.1. Razumijevanje vještačke inteligencije i njene ključne komponente.....	20
2.2. Elementi pametnih gradova: senzori, podaci, mreže i algoritmi	23
3. PRIMJENE VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PAMETNIM GRADOVIMA – PRIMJER PROBLEMA I RJEŠENJA, PREDNOSTI, NEDOSTACI.....	26
3.1. Saobraćaj.....	26
3.2. Kvalitet vazduha	30
3.3. Upravljanje sistemom voda, odlaganja i upravljanja otpadom.....	31
3.4. Energija.....	34
3.5. Sigurnost	38
4. IZAZOVI I PREPREKE.....	41
4.1. Pitanja privatnosti i etike: izazovi vještačke inteligencije u pametnim gradovima	41
4.2. Pametni gradovi: balansiranje sigurnosti i privatnosti u povezanim sistemima	42
4.3. Infrastrukturni izazovi u implementaciji pametnih gradova.....	45
5. BUDUĆI SMJEROVI RAZVOJA	47
5.1. Budućnost pametnih gradova: transformacija kroz inovacije.....	47
5.2. Unapređenje pametnih gradova kroz integraciju vještačke inteligencije i saradnju s drugim tehnologijama	49
6. PRIMJER INTEGRACIJE VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U JAVNU RASVJETU – PAMETNO JAVNO OSVJETLJENJE	52
6.1. Prednosti i nedostaci pametnog javnog osvjetljenja	52

6.2. Uloga pametnog javnog osvjetljenja u smanjenju CO ₂ i održivom razvoju.....	53
6.3. Prototip sistema inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom.....	55
6.3.1. Arhitektura – glavne komponente sistema.....	55
6.3.2. Proces rada.....	57
6.3.3. Klasterizacija dana i grupisanje	60
6.3.4. Aproksimacija potrošnje energije	62
6.3.5. Distribucija rashoda	63
6.3.6. Rezultati	65
6.3.7. Kritički osvrt na prikazani model i mogućnost unapređenja	72
ZAKLJUČAK.....	79
LITERATURA	81

UVOD

U posljednjim decenijama svjedočimo ubrzanom procesu urbanizacije koji je doveo do toga da više od polovine svjetske populacije danas živi u urbanim sredinama, a procjene ukazuju na još intenzivniji rast u predstojećim godinama. Takve promjene stvaraju složene izazove u pogledu upravljanja infrastrukturom, optimizacije saobraćaja, održivog korišćenja resursa, energetske potrošnje i očuvanja životne sredine. Tradicionalni pristupi planiranju i vođenju gradskih sistema više nisu dovoljni da odgovore na rastuće zahtjeve modernog društva, što dovodi do potrebe za novim konceptima i inovativnim rješenjima. U tom kontekstu, digitalna transformacija postaje ključni faktor koji oblikuje budućnost urbanog života. Posebno se ističe uloga vještačke inteligencije, čiji napredni algoritmi, prediktivne mogućnosti i sposobnost obrade velikih količina podataka omogućavaju da gradovi postanu efikasniji, održiviji i pametniji. Primjena vještačke inteligencije više nije samo tehnološki trend, već strateški odgovor na sve kompleksnije izazove urbane dinamike, što ovu oblast istraživanja čini izuzetno aktuelnom i relevantnom.

Naslov rada ukazuje na ključne elemente koji će biti obrađeni: prvo, naglašava se potreba za promjenom urbanih područja, a zatim se ističe uloga vještačke inteligencije u postizanju tog cilja kroz koncept pametnih gradova. Rad istražuje kako vještačka inteligencija doprinosi evoluciji gradova u pravcu efikasnijeg, održivijeg i ugodnijeg životnog okruženja. Aktuelnost teme je očigledna u svjetlu ubrzanog urbanizacijskog procesa koji se odvija širom svijeta. Gradovi se suočavaju s izazovima poput povećanog saobraćajnog opterećenja, potrošnje energije, upravljanja resursima i bezbjednosti. Vještačka inteligencija nudi inovativna rješenja za ove probleme, omogućavajući gradovima da postanu pametniji, efikasniji i prilagodljiviji. Istovremeno, predložena tema odgovara i trenutnoj tehnološkoj klimi. Razvoj senzora, uređaja Interneta stvari (*Internet of Things – IoT*) i naprednih algoritama omogućava integraciju vještačke inteligencije u svakodnevne funkcije grada. Ovo nije samo tehnološki trend, već i imperativ za održivi razvoj, što čini ovu temu relevantnom i primjerenom za istraživanje. Sveukupno, naslov rada nije samo naziv, već i poziv na razmišljanje o budućnosti gradova i ulozi tehnologije u oblikovanju naših urbanističkih sredina u 21. vijeku.

Predmet istraživanja obuhvata analizu uloge vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora, fokusirajući se na implementaciju u sisteme pametnih gradova. Osnovni

koncepti vještačke inteligencije i ključne komponente pametnih gradova će biti proučavani u cilju sagledavanja postojećeg stanja u svijetu. Zatim se istražuju primjene vještačke inteligencije u pametnim gradovima kroz konkretne primjere problema i rješenja, analizirajući prednosti i nedostatke u područjima kao što su saobraćaj, upravljanje energijom, sigurnost i kvalitet životne sredine. Izazovi i prepreke vezane za implementaciju vještačke inteligencije u pametnim gradovima detaljno su razmatrani, uključujući pitanja privatnosti, sigurnosne izazove, te finansijske i infrastrukturne prepreke. Nadalje, istraženi su budući smjerovi razvoja pametnih gradova, uključujući potencijalne inovacije, očekivani napredak u tehnologiji i moguće integracije s drugim tehnologijama. Kroz konkretan primjer integracije vještačke inteligencije u sistem javne rasvjete, analizira se arhitektura infrastrukture, tehnologije prenosa i mogućnosti unapređenja.

Motivacija za istraživanje uloge vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora, posebno kroz koncept pametnih gradova, proizlazi iz složenih izazova s kojima se suočavaju savremeni gradovi u kontekstu brze urbanizacije, rasta populacije i sve veće potrebe za održivim razvojem. Tradicionalni pristupi urbanom planiranju i upravljanju infrastrukturom postaju sve manje adekvatni u suočavanju s ovim izazovima, dok tehnološki napredak nudi mogućnost revolucionarnih promjena putem primjene vještačke inteligencije.

Glavni cilj ovog istraživanja je dublje razumijevanje uloge vještačke inteligencije u procesu transformacije urbanih prostora i stvaranja pametnih gradova, kao i analiza praktičnih primjena i efekata koje ova tehnologija može imati na urbano okruženje. Kroz sistematsko istraživanje, težimo identifikaciji ključnih aspekata u kojima vještačka inteligencija može doprinijeti efikasnijem, održivijem i sigurnijem funkcionisanju gradova, kao i prepoznavanju izazova i prepreka koje treba prevazići u ovom procesu.

Svrha istraživanja je pružiti korisne uvide donosiocima odluka, urbanistima, inženjerima, istraživačima i široj javnosti o potencijalima i izazovima primjene vještačke inteligencije u urbanom okruženju. Kroz analizu postojećeg stanja, primjera dobre prakse i kritičkog osvrtu na aktuelna rješenja, želimo podstaći diskusiju i razmjenu ideja o najboljim praksama u oblikovanju budućnosti gradova.

Konkretni ciljevi istraživanja uključuju detaljnu analizu koncepta pametnih gradova, identifikaciju ključnih oblasti primjene vještačke inteligencije, evaluaciju prednosti, nedostataka, izazova i prepreka u implementaciji, identifikaciju budućih smjerova razvoja, analizu primjera integracije vještačke inteligencije u sistem javne rasvjete te sintezu ključnih

nalaza radi pružanja smjernica za dalja istraživanja, politike i praksu u oblasti pametnih gradova. Kroz ostvarenje ovih ciljeva, očekujemo doprinos razvoju održivijih, efikasnijih i inkluzivnijih urbanih sredina, koje će bolje odgovarati potrebama njihovih stanovnika u 21. vijeku.

Postavljena su tri istraživačka pitanja. Prvo istraživačko pitanje glasi: Kako integracija vještačke inteligencije u pametnim gradovima utiče na efikasnost, održivost i sigurnost urbanih prostora? Obrazloženje istraživačkog pitanja: Ovo istraživačko pitanje proizlazi iz pretpostavke da primjena vještačke inteligencije u pametnim gradovima pozitivno utiče na različite aspekte urbanog života. Kroz analizu praktičnih primjera primjene vještačke inteligencije u ovim gradovima, istražujemo kako ova tehnologija unapređuje efikasnost saobraćaja, upravljanje energijom i otpadom, sigurnost građana te kvalitet životne sredine.

Drugo istraživačko pitanje glasi: Kako, suočavajući se sa izazovima privatnosti, etike, sigurnosti, finansija i infrastrukture u implementaciji vještačke inteligencije u pametnim gradovima, te razmatrajući potencijalne inovacije i moguće integracije s drugim tehnologijama, možemo stvoriti održive strategije razvoja urbanih prostora? Obrazloženje istraživačkog pitanja: Ovo istraživačko pitanje analizira ključne aspekte izazova i mogućnosti primjene vještačke inteligencije u pametnim gradovima. Istražujemo kako se pitanja privatnosti, etike i sigurnosti mogu uskladiti s potrebom za tehnološkim napretkom. Takođe, istražujemo strategije za prevazilaženje finansijskih i infrastrukturnih izazova kako bi se omogućila efikasna implementacija. Nadalje, istražujemo potencijalne inovacije u tehnologiji i njihov uticaj na urbano planiranje. Konačno, istražujemo kako pametni gradovi mogu integrisati nove tehnologije i saradivati s drugim sektorima radi stvaranja održive strategije razvoja urbanih prostora u budućnosti.

Treće istraživačko pitanje glasi: Kako adaptivna arhitektura, integrišući različite tehnike vještačke inteligencije i statistike, može promijeniti način kontrole i upravljanja javnim osvjetljenjem radi postizanja optimalne ravnoteže između energetske efikasnosti i vizuelnog komfora? Obrazloženje istraživačkog pitanja: Prvo, istražujemo kako integracija različitih tehnika vještačke inteligencije i statistike, poput neuronskih mreža, multi-agentnih sistema, algoritma očekivanja-maksimizacije, metoda zasnovanih na analizi varijanse i servisno-orijentisane arhitekture omogućava analizu velikih količina podataka i donošenje inteligentnih odluka u vezi sa osvjetljenjem. Drugo, istražujemo kako centralizovano upravljanje omogućava efikasnu koordinaciju komponenti osvjetljenja, što rezultira maksimalnom

energetskom efikasnošću i optimalnim vizuelnim komforom za korisnike. Kroz ovo istraživačko pitanje, težimo razumjeti kako inteligentno upravljanje osvjetljenjem može poboljšati kvalitet života u urbanim područjima, smanjiti ekološki otisak i doprinijeti održivom urbanom razvoju.

Metode naučnog istraživanja čine osnovu svakog sistematskog pristupa sticanju znanja u naučnoj zajednici. To su planirane, strukturirane procedure koje omogućavaju istraživačima da prikupljaju, analiziraju i interpretiraju podatke s ciljem stvaranja pouzdanog i validnog znanja. Ovaj rad koristi kombinaciju različitih naučnih metoda kako bi pružio sveobuhvatnu i dubinsku analizu problema istraživanja. Za dublje istraživanje postavljenih pitanja, koristićemo niz metoda kako bismo osigurali temeljno razmatranje uloge vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora u pametne gradove. Metode analize, sinteze, indukcije, apstrakcije i generalizacije biće ključni alati u našem istraživanju. Metoda analize omogućava da kompleksne pojave vezane za primjenu vještačke inteligencije u pametnim gradovima budu detaljno rastavljene na manje djelove. Na ovaj način, možemo bolje razumjeti aspekte kao što su efikasnost saobraćaja, upravljanje energijom i sigurnost građana, te njihov uticaj i izazove. Nakon analize pojedinačnih aspekata, metoda sinteze omogućava da se ti djelovi ponovo spoje u cjelinu. Ovo nam omogućava da shvatimo kako različiti elementi vještačke inteligencije mogu raditi zajedno u kompleksnim sistemima pametnih gradova kako bi se postigli optimalni rezultati. Metoda indukcije služi za izvođenje opštih zaključaka na osnovu specifičnih primjera ili podataka. Na taj način, možemo izvući opšte zaključke o uticaju vještačke inteligencije na urbano okruženje, koristeći analizu praktičnih primjera iz pametnih gradova. Metoda apstrakcije nam pomaže da identifikujemo ključne karakteristike ili ideje iz konkretnih situacija. Na primjer, možemo izdvojiti ključne komponente uspješne integracije vještačke inteligencije u sistem javne rasvjete kako bismo razvili opšte smjernice za primjenu u različitim gradovima. Konačno, metoda generalizacije omogućava nam da proširimo rezultate istraživanja na širi kontekst ili populaciju. Na ovaj način, možemo izvući opšte zaključke o tome kako vještačka inteligencija može uticati na efikasnost, održivost i sigurnost urbanih prostora širom svijeta. Kombinacija ovih metoda omogućava nam sveobuhvatan pristup istraživanju uloge vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora u pametne gradove, uzimajući u obzir različite aspekte i perspektive relevantne za ovu temu.

1. PAMETNI GRADOVI

1.1. Definicija pametnih gradova i njihova svrha

Pametni gradovi predstavljaju koncept urbanog razvoja koji se zasniva na integraciji naprednih tehnologija, digitalnih inovacija i podataka kako bi se unaprijedili različiti aspekti urbanih sredina (Huda et al., 2024). Ova inicijativa ima za cilj da transformiše tradicionalne gradove u inteligentne, povezane i održive ekosisteme koji koriste digitalne alate i infrastrukturu radi poboljšanja kvaliteta života, efikasnosti resursa i održivosti (Jordan, 2024).

Svrha pametnih gradova je stvaranje boljeg i održivijeg urbanog okruženja putem integracije ICT, senzora, podataka i analitike u svakodnevne procese i infrastrukturu grada. Ovi gradovi teže da optimizuju upotrebu resursa, povećaju efikasnost usluga, unaprijede mobilnost, poboljšaju bezbjednost i sigurnost, očuvaju životnu sredinu i podstaknu ekonomski razvoj (Gupta & Gupta, 2024). Glavne karakteristike pametnih gradova uključuju: povezanost, senzoriku i IoT, analitiku podataka, pristup učešća zajednice i održivost (Halegoua, 2020).

Povezanost u kontekstu pametnih gradova predstavlja integraciju informacionih i komunikacionih tehnologija kako bi se omogućilo povezivanje infrastrukture i usluga. Ova integracija ima za cilj postizanje efikasnijeg djelovanja urbanih sistema i pružanje boljih usluga građanima. Kroz povezanost, različite komponente grada mogu komunicirati i dijeliti informacije u realnom vremenu, što omogućava brže reagovanje na potrebe stanovništva i optimizaciju resursa (Han & Kim, 2021). Primjena informacionih i komunikacionih tehnologija u povezanosti pametnih gradova obuhvata različite aspekte, uključujući pametne mreže za distribuciju električne energije, pametne sisteme za upravljanje saobraćajem, pametne javne usluge, kao i integraciju pametnih senzora u infrastrukturu grada. Na primjer, kroz pametne sisteme za upravljanje saobraćajem, gradovi mogu koristiti podatke o saobraćaju u realnom vremenu kako bi prilagodili rad semafora i usmjeravanje saobraćaja radi smanjenja gužvi i vremena putovanja. Takođe, integracija informacionih i komunikacionih tehnologija u pametne javne usluge omogućava građanima pristup informacijama i uslugama putem mobilnih aplikacija ili web platformi, čime se olakšava pristup gradskim servisima (Benevolo, Dameri & D'auria, 2016; Yeh, 2017). Kroz povezanost pametnih gradova, stvara se efikasniji, integrisaniji i održiviji gradski ekosistem koji je sposoban da odgovori na potrebe građana u realnom vremenu i da se prilagodi promjenljivim okolnostima (Zygiaris, 2013). Osim toga, ova povezanost omogućava gradskim vlastima da bolje razumiju potrebe i zahtjeve stanovništva,

što im omogućava da prilagode politike i investicije radi poboljšanja kvaliteta života u gradu (Ji et al., 2021).

Korišćenje senzora i tehnologije IoT-a predstavlja osnovnu komponentu u pametnim gradovima, omogućavajući prikupljanje podataka u realnom vremenu o različitim aspektima grada. Senzori se postavljaju na različitim lokacijama u urbanom okruženju kako bi kontinuirano mjerili i bilježili informacije o različitim parametrima i uslovima (Ghazal et al., 2021). Ovi senzori mogu pratiti širok spektar informacija, uključujući podatke o saobraćaju, kvalitetu vazduha, nivou buke, temperature, vlažnosti, kvalitetu vode, osvjetljenju i drugim relevantnim faktorima. Na primjer, senzori postavljeni duž puteva mogu mjeriti brzinu i gustinu saobraćaja, dok senzori za mjerenje kvaliteta vazduha mogu identifikovati prisustvo štetnih gasova ili čestica (Channi & Kumar, 2021). Kroz tehnologiju IoT-a, ovi senzori su međusobno povezani i omogućavaju kontinuirano slanje podataka u centralni sistem za obradu i analizu. Na osnovu ovih podataka, gradske vlasti mogu dobiti uvid u aktuelno stanje i trendove u različitim djelovima grada. Ova informacija može biti od suštinskog značaja za donošenje adekvatnih odluka o urbanom planiranju, upravljanju saobraćajem, zaštiti životne sredine, pružanju javnih usluga i reagovanju na hitne situacije (Nassereddine & Khang, 2024). Senzorska mreža i IoT tehnologija doprinose stvaranju inteligentnih gradova tako što omogućavaju brzo prikupljanje podataka, identifikaciju problema i potencijalnih rješenja, kao i efikasnu upotrebu resursa. Osim toga, kontinuirano praćenje i analiza podataka omogućavaju gradskim vlastima da unaprijede svoje strategije i politike radi poboljšanja životnog standarda i održivosti urbanih sredina (Rathore et al., 2020; Zhang et al., 2020; Ramírez-Moreno et al., 2021).

Analitika podataka igra važnu ulogu u transformaciji tradicionalnih gradova u pametne gradove. Prikupljanje velikih količina podataka putem senzora i drugih izvora omogućava gradskim vlastima da koriste napredne tehnike analitike kako bi stekle dublje uvide u različite aspekte urbanih procesa i usluga (Stübinger & Schneider, 2020; Gupta, Panagiotopoulos & Bowen, 2020). Analiza prikupljenih podataka omogućava identifikaciju trendova koji su značajni za efikasno upravljanje gradom. Na primjer, analizom podataka o saobraćaju mogu se identifikovati tačke povećane gustine saobraćaja i optimizovati rute javnog prevoza, dok analiza podataka o potrošnji energije može pomoći u identifikaciji potencijalnih mjera za uštedu energije u zgradama i infrastrukturi (Li et al., 2020). Osim identifikacije problema, analitika podataka omogućava i predviđanje budućih potreba i izazova. Korišćenjem tehnika mašinskog učenja i statističke analize, gradski planeri mogu generisati modele koji predviđaju

buduće trendove u saobraćaju, demografiji, potrošnji resursa i drugim oblastima. Ovi prediktivni modeli omogućavaju gradskim vlastima da unaprijed planiraju infrastrukturne projekte i prilagode politike kako bi odgovorile na buduće potrebe stanovništva (Bibri, 2020). Kroz analitiku podataka, gradski lideri mogu donositi odluke zasnovane na informacijama o urbanom razvoju i upravljanju gradskim resursima. Ova informacija omogućava efikasno alociranje resursa, optimizaciju urbanih procesa i pružanje boljih usluga građanima. U krajnjem slučaju, analitika podataka doprinosi stvaranju pametnih gradova koji su prilagođeni potrebama svojih stanovnika i koji teže ka održivom, inkluzivnom i prosperitetnom urbanom okruženju (Wang et al., 2021; Kaluarachchi, 2022).

Pristup učešća zajednice predstavlja važnu komponentu u transformaciji tradicionalnih gradova u pametne gradove. Ova strategija podrazumijeva aktivno uključivanje različitih aktera, uključujući građane, preduzetnike, akademske institucije, nevladine organizacije i javne institucije, u proces planiranja, implementacije i evaluacije pametnih inicijativa (Broccardo, Culasso & Mauro, 2019). Uključivanje građana omogućava stvaranje inkluzivnog urbanog okruženja koje odražava njihove potrebe, želje i prioritete. Građani imaju priliku da aktivno učestvuju u kreiranju politika i projekata koji utiču na njihovu svakodnevicu, pružajući svoje ideje, povratne informacije i sugestije. Na taj način, pristup učešća zajednice promovira demokratski proces donošenja odluka i povećava legitimnost i podršku za pametne inicijative (Gohari et al., 2020). Osim građana, pristup učešća zajednice uključuje i druge glavne aktere u urbanom okruženju. Preduzetnici mogu donijeti inovativna rješenja i tehnološke inovacije koje doprinose razvoju pametnih gradova, dok akademske institucije mogu pružiti stručno znanje, istraživačke resurse i obrazovne programe o pametnim tehnologijama i urbanom razvoju. Ova sveobuhvatna saradnja između različitih aktera osigurava da pametne inicijative odražavaju širok spektar interesa i perspektiva, te da se prilagode konkretnim potrebama lokalne zajednice. Takođe, podstiče se odgovornost i transparentnost u procesima donošenja odluka, smanjujući rizik od nepoželjnih efekata ili otpora prema promjenama (Desdemoustier et al., 2019). Sumiranjem navedenog, pristup učešća zajednice predstavlja značajnu komponentu održivog i inkluzivnog urbanog razvoja, stvarajući pametne gradove koji su osmišljeni i vođeni zajedno sa svojim stanovnicima i ostalim relevantnim akterima.

Održivost je osnovna karakteristika pametnih gradova koja se manifestuje kroz niz strategija i praksi usmjerenih ka zaštiti i očuvanju životne sredine. Pametni gradovi teže da minimizuju negativne uticaje na okolinu i prirodne resurse putem različitih inovativnih pristupa i tehnoloških rješenja. Jedan od glavnih aspekata održivosti u pametnim gradovima je

efikasnije korišćenje resursa. To podrazumijeva optimizaciju potrošnje vode, energije i drugih resursa putem pametnih sistema za nadzor i upravljanje. Senzori i sistemi za praćenje omogućavaju prikupljanje podataka u realnom vremenu o potrošnji i korišćenju resursa, što omogućava gradskim vlastima da identifikuju efikasnost i preduzmu korake ka smanjenju potrošnje (Toli & Murtagh, 2020). Podrška održivim transportnim opcijama takođe je značajna za održivost pametnih gradova. Ovo uključuje promociju javnog prevoza, biciklizma, pješaćenja i drugih ekološki prihvatljivih načina transporta kao alternativa individualnom automobilskom saobraćaju. Pametni gradovi nude integrisane transportne sisteme, praćenje vozila u realnom vremenu, dijeljenje električnih vozila i druga rješenja koja podstiču održive transportne opcije (Zawieska & Pieriegud, 2018). Pored toga, pametni gradovi promovišu ekološki prihvatljive prakse u različitim sektorima, uključujući upravljanje otpadom, urbanu poljoprivredu, energetska efikasnost zgrada i zaštitu prirodnih staništa. Korišćenje naprednih tehnologija, kao što su pametni sistemi za upravljanje otpadom i reciklažu, doprinosi smanjenju otpada i zagađenja, dok implementacija zelenih prostornih planova podržava očuvanje prirodnih resursa i biološke raznolikosti (Haarstad, 2017). U suštini, održivost je temeljni princip koji definiše pametne gradove kao ekološki osviješćene i odgovorne urbane sredine. Integracija održivih praksi u planiranje, implementaciju i upravljanje gradskim sistemima omogućava stvaranje životnih prostora koji su ekološki prihvatljivi, energetska efikasni i prilagođeni za dugoročno očuvanje životne sredine.

Sumiranjem navedenog, pametni gradovi predstavljaju koncept urbanog razvoja koji se oslanja na tehnološke inovacije kako bi unaprijedili kvalitet života, povećali dostupnost usluga i promovisali održiv razvoj urbanih sredina. Ovi gradovi teže da iskoriste mogućnosti koje pružaju digitalne tehnologije kako bi postali efikasnija, sigurnija, održivija i prijatnija mjesta za život i rad. Kroz integraciju informacionih i komunikacionih tehnologija (ICT), senzora, analitike podataka i pristupa učešća zajednice, pametni gradovi nastoje da poboljšaju povezanost infrastrukture i usluga, omoguće efikasnije korišćenje resursa, promovišu inkluzivnost i odgovornost u planiranju, i podrže ekološki prihvatljive prakse. Kroz ove napore, pametni gradovi stvaraju okruženja koja su prilagođena potrebama stanovnika, podržavaju ekonomski razvoj i doprinose održivom i prosperitetnom urbanom životu.

1.2. Pregled razvoja pametnih gradova u svijetu

Razvoj pametnih gradova predstavlja evoluciju urbanih sredina ka sve sofisticiranijim, tehnološki naprednim i efikasnijim sistemima upravljanja. Iako se pojam pametnog grada često povezuje s modernim tehnologijama poput IoT-a, vještačke inteligencije i pametnih senzora, koncept pametnih gradova zapravo ima svoje korijene u historiji urbanog planiranja i razvoja gradskih infrastruktura (Halegoua, 2020). U nastavku je dat pregled osnovnih faza u razvoju pametnih gradova kroz historiju.

Istorijski gradski centri poput antičkog Rima, Atine i Carigrada (danas Istanbul) predstavljaju glavne tačke u razvoju urbanih sredina. Ovi drevni gradovi imali su izvanredno sofisticirane infrastrukture koje su bile ispred svog vremena. Na primjer, antički Rim je bio poznat po svom sistemu vodovoda, koji je koristio složene mreže akvadukata za snabdijevanje vodom građana i javnih fontana. Atina je takođe imala razvijenu infrastrukturu, uključujući vodovode i kanalizacione sisteme, dok je Carigrad, kao glavni grad vizantijskog carstva, imao izvanredna javna kupatila i česme. Ovi gradovi nisu samo imali impresivne tehničke sisteme, već su takođe bili organizovani na način koji je omogućavao efikasno upravljanje i planiranje. Na primjer, antički Rim je imao sistem urbanističkog planiranja s detaljnim mrežama ulica, trgovima i javnim zgradama koje su olakšavale kretanje građana i dostupnost javnih usluga. Slično tome, Atina je bila organizovana oko Akropolisa i drugih glavnih urbanih središta, s pažljivo planiranim trgovačkim putevima i zgradama (Baghos, 2021). Ovi primjeri pokazuju da su historijski gradski centri poput antičkog Rima, Atine i Carigrada imali mnogo zajedničkih karakteristika s modernim pametnim gradovima. Imali su sofisticiranu infrastrukturu, organizovane sisteme upravljanja i planiranja, i težili su poboljšanju kvaliteta života svojih stanovnika. Ovi početni oblici pametnih gradova predstavljaju važan korak u razvoju urbanih sredina i postavljanju osnova za buduće inovacije u urbanom planiranju i upravljanju.

Industrijska revolucija koja je obilježila 19. vijek imala je dubok i trajan uticaj na razvoj gradova širom svijeta. Razvoj parne energije, željeznica i sistema za snabdijevanje vodom i gasom značajno su transformisali urbane sredine, stvarajući nove obrasce gradskog života i mijenjajući kvalitet života stanovnika. Jedan od osnovnih elemenata industrijske revolucije bio je razvoj parne energije. Ova tehnološka inovacija omogućila je pokretanje mašina i postrojenja, što je ohrabrilо razvoj industrijskih kompleksa i fabrika u gradovima. To je rezultiralo intenzivnijom urbanizacijom, jer su se ljudi masovno doseljavali u gradove u potrazi za radom u fabrikama. Željeznice su takođe imale značajnu ulogu u urbanom razvoju. Željezničke mreže povezale su gradove s udaljenim područjima, omogućavajući brži i

efikasniji prevoz robe i ljudi. To je doprinijelo rastu gradova duž željezničkih linija, stvarajući nove urbane centre i promovirajući razvoj industrije, trgovine i usluga. Sistemi za snabdijevanje vodom i gasom takođe su značajno poboljšali kvalitet života u gradovima. Razvoj vodovoda omogućio je pristup čistoj pitkoj vodi, što je smanjilo incidenciju bolesti i poboljšalo higijenske uslove u gradovima. Istovremeno, snabdijevanje gasom omogućilo je grijanje i rasvjetu u domovima i javnim zgradama, što je unaprijedilo udobnost i sigurnost života u urbanim područjima. U cjelini, industrijska revolucija transformisala je gradove u središta industrije, trgovine i urbanog života (Halegoua, 2020). Razvoj parne energije, željeznica i urbanih sistema za snabdijevanje vodom i gasom promijenio je izgled gradova i poboljšao kvalitet života njihovih stanovnika, postavljajući osnove za dalji urbanistički razvoj u 20. vijeku.

Krajem 19. i početkom 20. vijeka, elektrifikacija gradova i uvođenje telefonskih mreža imali su značajan uticaj na razvoj pametnih gradova. Elektrifikacija je omogućila široku primjenu električne energije u gradskom okruženju, što je rezultiralo modernizacijom sistema rasvjete, prevoza i industrije. Uvođenje telefonskih mreža dodatno je unaprijedilo komunikacijsku infrastrukturu, olakšavajući komunikaciju između građana, poslovnih subjekata i administracije. Elektrifikacija je omogućila daljinsko upravljanje sistemima javne rasvjete, što je rezultiralo boljim osvjetljenjem gradskih ulica i javnih prostora. To je poboljšalo sigurnost noću i omogućilo građanima i posjetiocima da se osjećaju sigurnije u gradskim sredinama. Takođe, elektrifikacija je ohrabrila razvoj novih industrija i tehnologija, poput električnih mašina i aparata, što je dodatno unaprijedilo urbanu infrastrukturu i usluge. Građani su tada mogli komunicirati na daljinu, što je olakšalo poslovne transakcije, administrativne postupke i svakodnevnu komunikaciju između porodice i prijatelja. Takođe, telefonske mreže omogućile su brži i efikasniji pristup hitnim službama i drugim javnim uslugama, poboljšavajući odgovor na hitne situacije i potrebe građana. Ukupno gledano, elektrifikacija i uvođenje telefonskih mreža označili su početak digitalne transformacije gradova, pružajući osnov za dalji razvoj pametnih tehnologija i usluga (Therborn, 2017).

Tokom 20. vijeka, razvoj informacionih tehnologija, posebno računarstva i interneta, imao je značajan uticaj na način na koji su gradovi upravljali svojim resursima i pružali usluge svojim građanima (Warf, 2017). Digitalizacija administracije postala je sveprisutna, što je omogućilo efikasnije praćenje i upravljanje gradskim resursima. Gradovi su počeli koristiti računarske sisteme za obradu podataka o urbanom planiranju, finansijama, evidenciji stanovništva i drugim područjima. Uz to, razvoj pametnih transportnih sistema postao je prioritet u urbanom planiranju. Pametne tehnologije, poput senzora, kamera i sistema za

praćenje vozila, integrisane su u saobraćajne infrastrukture kako bi se poboljšala sigurnost, efikasnost i održivost saobraćaja u gradovima. Uvođenje informacionih tehnologija omogućilo je stvaranje pametnih rješenja poput pametnih semafora, sistema dinamičnog upravljanja saobraćajem i aplikacija za javni prevoz koje su pružile bolje iskustvo putovanja građanima. Nadalje, sistemi za praćenje javnih usluga postali su standardni djelovi urbanog planiranja. Gradovi su počeli koristiti tehnologiju kako bi pratili kvalitet vode i vazduha, prikupljali podatke o otpadu i recikliranju te osiguravali brz odgovor na hitne situacije. Integracija informacionih tehnologija omogućila je bolje upravljanje urbanim resursima, smanjila troškove i povećala kvalitet života u gradovima širom svijeta (de Oliveira, 2022).

U 21. vijeku, svjedočimo eri pametnih tehnologija koje transformišu gradove širom svijeta u pametne, interaktivne i održive ekosisteme. Glavne tehnologije koje su pokretač ovog procesa uključuju IoT, vještačku inteligenciju, big data analitiku i blockchain tehnologiju. Ove tehnologije omogućuju gradovima da postanu pametni, što znači da integrišu digitalne informacione i komunikacijske tehnologije u svoje infrastrukture kako bi optimizovali upravljanje resursima, poboljšali kvalitet života svojih građana te osigurali održivu urbanu budućnost (Halegoua, 2020). Primjena IoT-a omogućuje pametnim gradovima da povežu fizičke uređaje i senzore sa mrežom širokog područja niske snage (*Low Power Wide Area Network* – LP-WAN) ili 5G mrežom kako bi prikupljali podatke i pružali uvid u različite aspekte urbanog okruženja. Ovi podaci se potom koriste za optimizaciju gradskih sistema, kao što su saobraćaj, javne usluge, energetska efikasnost i upravljanje otpadom. Vještačka inteligencija doprinosi pametnim gradovima analizom i interpretacijom velikih količina podataka, omogućavajući automatizaciju procesa, identifikaciju uzoraka i predviđanje budućih scenarija. Big data analitika omogućuje gradovima da analiziraju ogromne količine podataka prikupljenih putem senzora, uređaja i društvenih medija kako bi dobili uvid u potrebe građana, identifikovali trendove i optimizovali svoje resurse (Talebkhah et al., 2021). Blockchain tehnologija pruža sigurnu i transparentnu platformu za razmjenu podataka između različitih entiteta u pametnom gradu, što olakšava sigurnu razmjenu informacija i transakcija (Bhushan et al., 2020). Sumiranjem navedenog, ove tehnologije omogućuju gradovima da postanu dinamični ekosistemi koji su sposobni prilagoditi se promjenama i rješavati složene izazove života u urbanim sredinama. Pametni gradovi teže postizanju veće efikasnosti, održivosti i kvaliteta života za svoje građane, čineći ih atraktivnijim i konkurentnijim mjestima za život i rad u 21. vijeku.

Kroz ovaj razvoj, pametni gradovi su postali sve više povezani, efikasniji, i prilagođeniji potrebama svojih stanovnika, istovremeno pružajući osnov za dalje inovacije i napredak u urbanom planiranju i upravljanju. Danas su pametni gradovi postali sve učestaliji širom svijeta, pri čemu mnogi gradovi ulažu napore u implementaciju tehnologija i infrastrukture kako bi poboljšali kvalitet života svojih građana.

Različiti gradovi širom svijeta ističu se po svojim pametnim inicijativama, tehnološkim inovacijama i integraciji digitalnih rješenja radi poboljšanja kvaliteta života svojih građana. Evropa je poznata po svojim naprednim gradovima koji se ističu u području pametnih inicijativa. Barcelona u Španiji, vodeća je u pametnom urbanom planiranju i implementaciji sistema za upravljanje saobraćajem, energijom i komunalnim uslugama. Amsterdam u Holandiji, takođe se ističe po održivim inicijativama i inovativnim projektima koji uključuju pametne transportne sisteme (Mancebo, 2020). Helsinki u Finskoj, takođe je poznat po svojim naprednim sistemima javnog prevoza, digitalizaciji javnih usluga i inovacijama u području pametne energije (Shamsuzzoha et al., 2021). Azija je dom nekoliko globalnih lidera u implementaciji pametnih tehnologija u gradovima. Singapur se ističe kao jedan od najnaprednijih pametnih gradova na svijetu, s naprednom infrastrukturom koja obuhvata različite tehnologije poput pametnih saobraćajnih sistema, sistema za upravljanje otpadom i digitalnih usluga javne uprave (Wolniak & Grebski, 2023). Seul u Južnoj Koreji ima impresivne inicijative za pametno urbanističko planiranje i integraciju tehnologija u svakodnevni život građana (Erkek, 2023). Tokio, Japan, ističe se po svojoj integraciji pametnih tehnologija u urbanu infrastrukturu i sisteme javnog prevoza (Wolniak & Grebski, 2023). Sjeverna Amerika ima nekoliko gradova koji su pioniri u području pametnih tehnologija. Njujork u Sjedinjenim Američkim Državama, aktivan je u razvoju pametnih inicijativa kroz programe poput NYCx, koji promovišu inovacije u područjima poput transporta, zdravstva i obrazovanja. San Francisco se ističe po svojim tehnološkim inovacijama i implementaciji pametnih sistema za upravljanje otpadom i javne usluge (Hu & Zheng, 2021). Toronto u Kanadi, poznat je po svojim inovativnim pristupima pametnim gradovima, uključujući razvoj IoT-a, vještačke inteligencije i digitalne transformacije javnih usluga (Morgan & Webb, 2020). Južna Amerika ima nekoliko gradova koji su predvodnici u području pametnih inicijativa. Buenos Aires u Argentini sprovodi niz inicijativa koje obuhvataju pametnu mobilnost, digitalnu transformaciju javnih usluga i održivi razvoj. Medeljin u Kolumbiji, ističe se po svojim inovativnim projektima za urbano planiranje i integraciju pametnih tehnologija u različite sektore. Rio de Žaneiro u Brazilu takođe ima niz projekata koji se bave pametnim

urbanim planiranjem, digitalizacijom javnih usluga i podsticanjem održivog razvoja grada (Irazábal & Jirón, 2021; Mehmood et al., 2023). Afrika ima gradove koji sve više postaju predvodnici u području pametnih tehnologija. Kairo u Egiptu ističe se po svojim inovativnim pristupima pametnim gradovima, uključujući integraciju tehnologija za poboljšanje kvaliteta života građana i efikasnije upravljanje gradskim resursima. Johannesburg u Južnoj Africi također je jedan od gradova koji se ističe po implementaciji pametnih tehnologija, poput urbanističkog planiranja, javnih usluga i pametnog upravljanja upotrebe energije (Ahouzi et al., 2020; Abusaada, Elshater & Rashed, 2023). Australija ima nekoliko gradova koji su prepoznati kao pametni gradovi. Melburn se ističe kao jedan od najnaprednijih pametnih gradova u Australiji, s inovativnim projektima koji se bave IoT-om, pametnim transportnim sistemima i digitalizacijom javnih usluga. Sidnej se također ističe po svojim inovacijama u području pametnih gradova, uključujući implementaciju tehnologija za unapređenje kvaliteta života građana i održivog urbanog razvoja (Tariq et al., 2020; Yigitcanlar, Kankanamge & Vella, 2022). U nastavku će biti dat detaljan prikaz razvoja nekih od pametnih gradova.

Singapur se ističe kao jedan od najnaprednijih pametnih gradova na globalnom nivou, poznat po impresivnoj integraciji različitih tehnologija u svoju pametnu infrastrukturu. Ovaj grad u Aziji usvojio je širok spektar pametnih rješenja kako bi poboljšao kvalitet života svojih građana i optimizovao upravljanje gradskim resursima. Jedan od osnovnih elemenata njegove pametne infrastrukture su pametni saobraćajni sistemi, koji koriste napredne senzore i vještačku inteligenciju za praćenje i upravljanje saobraćajem u stvarnom vremenu (Shamsuzzoha et al., 2021). Osim toga, Singapur se ističe i po svojim inicijativama za upravljanje otpadom, uključujući sisteme za recikliranje i pametne kontejnere koji optimizuju procese prikupljanja otpada (Kumar et al., 2020). Što se tiče energetske efikasnosti, Singapur kontinuirano radi na implementaciji tehnoloških inovacija kako bi smanjio potrošnju energije i promovisao održivost (Joo, 2023). Digitalne usluge javne uprave također su u fokusu, s raznim digitalnim platformama koje olakšavaju pristup uslugama građanima, poput e-uprave i digitalnog zdravlja (Martinus, 2022). Primjer takve inovativne inicijative je *Singapore Vision*, koja se zasniva na integraciji IoT-a i vještačke inteligencije kako bi se unaprijedile usluge i infrastruktura grada, nudeći moderna rješenja za bolji život građana (Toan & Nhu, 2020). Ovi primjeri čine Singapur izuzetno naprednim i inspirativnim primjerom pametnog grada u Aziji i širom svijeta.

Barselona se ističe kao jedan od vodećih pametnih gradova u Evropi zahvaljujući svojoj ambicioznoj inicijativi *Smart City Barcelona*. Ova inicijativa obuhvata širok spektar pametnih

projekata koji su usmjereni na poboljšanje kvaliteta života građana i efikasnost upravljanja gradom. Jedan od osnovnih fokusa ove inicijative je implementacija sistema za upravljanje saobraćajem koji koriste napredne tehnologije poput senzora i pametnih semafora kako bi se optimizovala saobraćajna kretanja i smanjila gužva (Bibri & Krogstie, 2020). Nadalje, Barcelona je poznata po svojim pametnim zgradama koje integrišu različite tehnologije za energetska efikasnost, sigurnost i udobnost stanara (Mann et al., 2020). Digitalne usluge za građane takođe su važan dio inicijative, pružajući platforme i aplikacije koje olakšavaju interakciju s gradskim resursima i uslugama, kao što su digitalna platforma za participativnu demokratiju Decidim Barcelona i različite mobilne aplikacije za pristup javnim uslugama i prijavu komunalnih problema (Noori, Hoppe & de Jong, 2020). Dodatno, Barcelona koristi GIS tehnologiju za urbano planiranje i analizu prostornih podataka, omogućavajući urbanistima detaljan uvid u gradski prostor i njegove karakteristike (Yoo, 2021). Kroz ove pametne inicijative, Barcelona se pozicionira kao primjer uspješne integracije tehnologije u urbanu infrastrukturu s ciljem unapređenja životnog standarda građana i održivog razvoja grada.

Njujork se ističe kao jedan od najvažnijih gradova u Sjevernoj Americi koji aktivno razvija pametne inicijative kako bi unaprijedio kvalitet života građana i efikasnost gradskih sistema. Kroz svoj program *NYCx*, grad podstiče inovacije u različitim područjima kao što su transport, zdravstvo, obrazovanje i javne usluge. Ovaj program stvara platformu za saradnju između grada, privatnog sektora i akademske zajednice kako bi se identifikovale i implementirale napredne tehnološke solucije koje adresiraju glavne izazove grada (Du, Zhang & Mora, 2022). Njujork takođe aktivno implementira sisteme pametnog osvjjetljenja kako bi poboljšao energetska efikasnost i sigurnost na ulicama, te sisteme za upravljanje otpadom radi smanjenja ekološkog uticaja i optimizacije procesa recikliranja (Huh, Choi and Seo, 2021). Digitalne platforme za komunikaciju s građanima takođe su dio pametnih inicijativa, pružajući transparentnost, participaciju i brzu razmjenu informacija između građana i gradske uprave (Ranchordás & Goanta, 2020). Kroz ove inicijative, Njujork pokazuje predanost u korišćenju tehnoloških inovacija kako bi se unaprijedilo urbanističko planiranje, poboljšala infrastruktura i stvorila održiva i prosperitetna urbana sredina.

Dubai se ističe kao jedan od vodećih gradova na Bliskom istoku kada je u pitanju implementacija pametnih tehnologija s ciljem transformacije grada u jedno od najnaprednijih pametnih gradova na svijetu (Riadh, 2022). Ambiciozni projekat *Smart Dubai* obuhvata širok spektar inicijativa usmjerenih na digitalizaciju javnih usluga, unapređenje saobraćajnih sistema

te primjenu blockchain tehnologije za administraciju i inovacije u sektorima kao što su zdravstvo i obrazovanje. Kroz ovaj projekat, Dubai teži postati globalni lider u primjeni tehnologije radi poboljšanja kvaliteta života građana i stvaranja dinamičnog i konkurentnog urbano-planskog okruženja. Implementacija digitalizacije javnih usluga omogućava građanima i poslovnim subjektima pristup bržim, efikasnijim i transparentnijim uslugama putem online platformi i aplikacija. Pametni saobraćajni sistemi usmjereni su na rješavanje izazova povezanih sa saobraćajnom gužvom i osiguravanje sigurnije i efikasnije mobilnosti unutar grada. Korišćenje blockchain tehnologije za administraciju pruža transparentnost, sigurnost i pouzdanost u procesima upravljanja podacima i transakcijama. Inovacije u sektorima zdravstva i obrazovanja takođe su osnovne komponente *Smart Dubai* projekta, a cilj im je unaprijediti pružanje zdravstvenih usluga, poboljšati kvalitet obrazovanja i podstaći istraživanje i razvoj u ovim sektorima (Sahib, 2020; Breslow, 2021; Gugler, Alburai & Sttalter, 2021). Kroz sve ove inicijative, Dubai pokazuje svoju predanost razvoju pametnih tehnologija kao osnovnog sredstva za ostvarivanje svoje vizije o budućnosti inovativnog, povezanog i održivog grada.

Johanesburg je jedan od gradova u Africi koji se ističe svojim naporima u implementaciji pametnih inicijativa. Grad se fokusira na razvoj pametnih tehnologija koje poboljšavaju sigurnost, mobilnost i pružanje javnih usluga. Na primjer, Johanesburg je implementirao pametne sisteme za upravljanje saobraćajem kako bi smanjio gužve i poboljšao protok saobraćaja (Di Virgilio & Serrati, 2022). Takođe, grad radi na razvoju pametnih rješenja za sigurnost građana, kao što su video nadzor visoke rezolucije i aplikacije za prijavu incidenata. Osim toga, Johanesburg provodi inicijative za digitalizaciju javnih usluga kako bi olakšao pristup građanima uslugama poput plaćanja računa ili prijavama za administrativne postupke putem interneta ili mobilnih aplikacija. Johanesburg se takođe angažuje na unapređenju održivosti, promovišući zelene inicijative i tehnologije koje smanjuju negativan uticaj na životnu sredinu (Fataar, 2020). Sve ove inicijative čine Johanesburg jednim od pionira u području pametnih gradova na afričkom kontinentu, te pružaju platformu za dalji razvoj i napredak u smjeru modernog, efikasnog i održivog urbanog okruženja.

Buenos Aires se ističe kao jedan od pionira u primjeni pametnih inicijativa u Južnoj Americi. Grad provodi niz projekata usmjerenih na poboljšanje pametne mobilnosti, digitalnu transformaciju javnih usluga i unapređenje održivog razvoja (Alderete, 2022). Jedna od glavnih inicijativa je integracija tehnologije u javni prevoz, što uključuje implementaciju sistema za praćenje autobusa i vozova u stvarnom vremenu putem pametnih aplikacija. Ovo omogućava građanima preciznije planiranje putovanja i smanjenje vremena čekanja na prevoz. Takođe,

Buenos Aires radi na digitalizaciji javnih usluga kroz razvoj digitalnih platformi koje omogućavaju građanima jednostavan pristup uslugama poput plaćanja računa, rezervacije termina u zdravstvenim ustanovama ili prijave za administrativne postupke. Osim toga, grad sprovodi projekte usmjerene na smanjenje emisija štetnih gasova i promociju zelenih inicijativa, poput programa za poboljšanje kvaliteta vazduha i očuvanja zelenih površina u gradu (Di Virgilio & Serrati, 2022). Sve ove inicijative imaju za cilj stvaranje modernog, efikasnog i održivog grada koji pruža visokokvalitetne usluge svojim građanima i promovise uravnotežen razvoj.

Svaki od ovih gradova pokazuje angažman u razvoju pametnih inicijativa kako bi poboljšao kvalitet života svojih građana i postao efikasniji i održiviji urbani centar.

1.3. Uloga vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora

Uloga vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora je najvažnija u ostvarivanju koncepta pametnih gradova i unapređenju kvaliteta života u urbanim sredinama. Vještačka inteligencija omogućava efikasnu analizu velikih količina podataka prikupljenih u urbanim sredinama, što omogućava gradskim vlastima da bolje razumiju obrasce, identifikuju probleme i donose odluke zasnovane na informacijama u planiranju i upravljanju gradskim resursima. Integracija vještačke inteligencije u gradske sisteme omogućava optimizaciju resursa poput potrošnje energije, vode i javnih usluga, što rezultira efikasnijim korišćenjem resursa i smanjenjem troškova. Takođe, vještačka inteligencija se koristi za predviđanje budućih scenarija na osnovu analize trenutnih podataka i trendova, omogućavajući gradskim vlastima da anticipiraju potrebe građana i identifikuju potencijalne izazove i prilike za održiv razvoj grada. Personalizacija usluga putem vještačke inteligencije prilagođava ponudu usluga individualnim potrebama građana, poboljšavajući njihovo iskustvo života u gradu. Kroz razvoj autonomne mobilnosti, vještačka inteligencija doprinosi stvaranju sigurnijih, efikasnijih i održivijih transportnih sistema, što dalje podržava cilj stvaranja pametnih, održivih i inkluzivnih gradova koji zadovoljavaju potrebe svih svojih stanovnika. U nastavku su prikazani rezultati nekih od radova koji su se bavili ulogom vještačke inteligencije u transformaciji urbanih prostora.

Ullah et al. (2020) analiziraju savremene trendove i napredak u razvoju pametnih gradova, sa posebnim fokusom na primjenu vještačke inteligencije (AI), mašinskog učenja (ML) i dubokog učenja pojačavanjem (DRL). Autori istražuju efikasnu ulogu ovih tehnologija u dizajniranju optimalnih strategija za različite ključne aplikacije u pametnim gradovima, kao

što su upravljanje saobraćajem, energetsom efikasnošću, sajber-sigurnošću i zdravstvenom zaštitom. Takođe, predstavljaju izazove i buduće trendove istraživanja u oblasti pametnih gradova, ističući značajnu ulogu pomenutih tehnika u rješavanju kompleksnih problema i unapređenju funkcionalnosti gradskih sistema.

Batty (2018) naglašava da urbano planiranje od XIX vijeka teži poboljšanju kvaliteta života u gradovima kroz ekonomsku funkcionalnost i društvenu jednakost. Iako se vještačka inteligencija može koristiti u ovom procesu, postoji kompleksnost i neizvjesnost koja ne može biti potpuno automatizovana. Iako neke tehnologije vještačke inteligencije mogu ponuditi superiornije rješenje od ljudskog dizajna, planiranje se razlikuje od rutinskih zadataka jer uključuje neočekivane događaje koji nisu lako predvidivi čak ni vještačkom inteligencijom. Ovi neočekivani događaji su ključni u definisanju ljudskog ponašanja, što sugeriše da, iako vještačka inteligencija može biti korisna, ljudska intervencija i dalje ostaje neophodna u urbanom planiranju.

Luusua et al. (2023) naglašavaju da urbanizacija i digitalizacija dovode do sveprisutnosti urbane vještačke inteligencije u našim životima, od mobilnih uređaja do infrastrukture. Vještačka inteligencija se sve više koristi u komercijalnim aplikacijama, poput ličnih asistenata i sistema podrške u vozilima, te se sve češće integriše u svakodnevne domove putem sistema kućnih pomoćnika i pametnih zvučnika. Autonomni algoritmi su ključni za moderne putničke prakse, od odabira ruta do korišćenja usluga smještaja, te često pružaju digitalne preporuke koje utiču na naše odluke o putovanjima.

Souza et al. (2019) ističu da je do 2017. godine postojalo više od 250 projekata pametnih gradova u 178 gradova širom svijeta. Ova ekspanzija pametnih gradova uglavnom je posljedica korišćenja tehnologija kao što su IoT i analiza velikih podataka, pri čemu se pametnost gradova pripisuje primjeni tehnika i alata vještačke inteligencije.

Agarwal et al. (2015) istražuju kako nedostatak inteligentnih transportnih sistema u velikim gradovima dovodi do problema poput nesreća, zagađenja i zagušenja saobraćaja. Oni predlažu primjenu vještačke inteligencije za razvoj različitih aplikacija, uključujući sisteme javnog prevoza, upravljanja saobraćajem, informacione sisteme, upravljanje bezbjednošću, upravljanje parkiranjem i upravljanje održavanjem puteva, kako bi se riješili ovi izazovi i unaprijedila efikasnost transporta u pametnim gradovima.

Dash & Sharma (2022) naglašavaju da pametni gradovi moraju prihvatiti tehnologiju vještačke inteligencije kako bi unaprijedili svoje performanse i efikasnost. Pored prihvatanja

vještačke inteligencije, neophodno je usvojiti strategije prilagođavanja tehnologije u različitim funkcijama lokalne uprave radi šireg usvajanja koncepta pametnih gradova širom svijeta. Razvoj inteligentnih gradova obećava unapređenje kvaliteta života u urbanim sredinama kroz poboljšanja u javnom i privatnom sektoru, pri čemu vještačka inteligencija igra vitalnu ulogu u ostvarivanju ciljeva održivosti putem unaprijeđene sigurnosti, upravljanja otpadom, energetske efikasnosti i pametnog parkiranja. Integracija vještačke inteligencije omogućava pametno prikupljanje i analizu podataka putem instaliranih kamera i IoT senzora, pružajući relevantnim institucijama osnovu za donošenje odluka zasnovanih na informacijama. Iako neki ekolozi mogu smatrati urbanizaciju problematičnom, primjena vještačke inteligencije u urbanizaciji može je učiniti korisnijom i efikasnijom.

Luckey et al. (2021) ističu da napretci u vještačkoj inteligenciji, posebno u mašinskom učenju, značajno su unaprijedili aplikacije za pametne gradove. Pametna infrastruktura, najvažnija za pametne gradove, koristi bežične senzorske mreže koje autonomno prikupljaju, analiziraju i komuniciraju strukturne podatke, poznate kao pametno praćenje. Algoritmi vještačke inteligencije omogućavaju obradu velikih količina podataka i otkrivanje uzoraka i karakteristika koje bi inače ostale neotkrivene tradicionalnim metodama. Međutim, primjena algoritama vještačke inteligencije za pametno praćenje i dalje je ograničena zbog nepovjerenja inženjera prema generalno neprozirnim unutrašnjim procesima vještačke inteligencije.

Herath & Mittal (2022) ističu složenost definisanja pojma "pametno" u domenu informacionih i komunikacionih tehnologija, često korišćenog kao sinonim za savremeno i inteligentno. Tehnologija ima značajnu ulogu u unapređenju pametnih gradova, koristeći informaciono-komunikacione tehnologije za automatizaciju procesa i integraciju obavještajnih tehnologija radi poboljšanja infrastrukture i participativnog upravljanja. Različite moderne tehnologije omogućavaju unapređenje efikasnosti i poslovanja u različitim sektorima urbanog života, poput zdravstva, transporta, energetike i obrazovanja.

Allam & Dhunny (2019) pružaju opsežan pregled literature o primjeni vještačke inteligencije u pametnim gradovima putem analize velikih podataka od različitih pružilaca usluga. Iako pojava velikih podataka izaziva pitanja o povjerljivosti i etici, implementacija vještačke inteligencije može značajno doprinijeti upravljanju gradovima i urbanoj ekonomskoj održivosti. Autori naglašavaju važnost balansiranja tehnološkog faktora i društvene integracije kako bi se osigurala šira prihvaćenost koncepta pametnih gradova, ističući potrebu za

rješavanjem pitanja poput upotrebe tehnologije, kulturnih aspekata i urbanog metabolizma radi stvaranja inkluzivnijeg i sigurnijeg urbanog okruženja.

Istraživanje koje su sproveli Voda i Radu (2018) pokazuje da ljudi prepoznaju vještačku inteligenciju kao važan faktor u razvoju pametnih gradova, ali da se stavovi o njenom uticaju razlikuju u zavisnosti od pola i starosne dobi. Žene su uglavnom bile više zabrinute za bezbjednost i smatrale da vještačka inteligencija ima veći uticaj na ličnu sigurnost i upravljanje energijom, dok su stariji ispitanici posebno isticali značaj vještačke inteligencije za bezbjednost, a mlađi su više cijenili njenu ulogu u efikasnijem upravljanju energijom. Ova studija naglašava važnost daljeg istraživanja kako bi se bolje razumjeli različiti stavovi javnosti i kako oni mogu uticati na uspješnu primjenu tehnologija vještačke inteligencije u urbanom planiranju.

Bokhari & Myeong (2022) istražuju uticaj vještačke inteligencije na pametno donošenje odluka u kontekstu pametnih gradova, naglašavajući važnost društvene inovacije kao posrednika u ovoj interakciji. Njihova studija ukazuje na značajnu ulogu AI sistema, posebno u obradi velikih podataka generisanih od senzora, u unapređenju društvenih inovacija i procesa donošenja odluka. Rezultati istraživanja sugerišu potrebu za daljim istraživanjem kako bi se razumjele implikacije AI-a na donošenje odluka u različitim industrijama i kontekstima, što bi moglo doprinijeti akademskom i empirijskom napretku u oblasti tehnologija vještačke inteligencije.

Zamponi & Barbierato (2022) ističu brojne zabrinutosti oko primjene vještačke inteligencije u kontekstu pametnih gradova, uključujući gubitak poslova, pristrasnost u podacima, etičke brige i zakonska pitanja. Prepoznajući ove izazove, istraživači predlažu definisanje politika koje bi podržale edukativne programe o vještačkoj inteligenciji, implementaciju algoritama za smanjenje pristrasnosti, podršku akcijama saradnje ljudi i vještačke inteligencije te definisanje jasnih pravnih okvira. Njihova studija takođe naglašava važnost ekološke svijesti u razvoju pametnih gradova, ističući osnovnu ulogu komponenti koje se odnose na energiju, uz potrebu za primjenom aplikacija vještačke inteligencije koje podržavaju održivost, ali istovremeno izbjegavaju dodatnu potrošnju energije.

2. VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA: OSNOVNI KONCEPTI

2.1. Razumijevanje vještačke inteligencije i njene ključne komponente

Razumijevanje vještačke inteligencije i njenih glavnih komponenti igra važnu ulogu u proučavanju ove tehnologije i njenoj praktičnoj primjeni. Vještačka inteligencija se odnosi na sposobnost mašina ili softvera da simulira ljudsku inteligenciju, uključujući sposobnosti poput učenja, zaključivanja, prepoznavanja obrazaca, donošenja odluka i rješavanja problema (Finlay, 2020). Ključne komponente vještačke inteligencije obuhvataju: mašinsko učenje, duboko učenje, prirodni jezik, računarski vid i pojačano učenje.

Mašinsko učenje (*Machine Learning*) predstavlja osnovnu komponentu vještačke inteligencije koja omogućava računarima da uče iz podataka i iskustva bez eksplicitnog programiranja. Ova disciplina se fokusira na razvoj algoritama koji automatski poboljšavaju svoje performanse kroz iskustvo, prikupljajući podatke i identifikujući obrasce u njima (Das et al., 2015). Algoritmi mašinskog učenja koriste ove obrasce kako bi donosili odluke, pravili predviđanja ili obavljali zadatke na osnovu novih podataka s kojima nisu prethodno bili upoznati (Cioffi et al., 2020). Primjeri primjene mašinskog učenja uključuju klasifikaciju slika, prepoznavanje govora, analizu teksta, preporuke proizvoda, detekciju prevara i mnoge druge zadatke (Das et al., 2015). Osnovni koncepti u mašinskom učenju uključuju nadgledano učenje, nenadgledano učenje i pojačano učenje. Nadgledano učenje podrazumijeva korišćenje označenih podataka za treniranje modela, dok nenadgledano učenje uključuje korišćenje neoznačenih podataka kako bi model sam naučio skrivene strukture ili obrasce. Pojačano učenje je tehnika u kojoj agent uči kako da donosi odluke u određenom okruženju kroz iskustvo i interakciju sa istim (Morales & Escalante, 2022). Mašinsko učenje se koristi u različitim industrijama i aplikacijama, omogućavajući računarima da automatizuju procese, otkrivaju skrivene informacije i pružaju korisne uvide iz podataka (Rai et al., 2021).

Duboko učenje (*Deep Learning*) predstavlja komponentu mašinskog učenja koja se zasniva na upotrebi vještačkih neuronskih mreža sa više slojeva za obradu podataka. Ova tehnika omogućava sistemima da automatski nauče reprezentacije podataka kroz složene i hijerarhijske procese (Janiesch, Zscheck & Heinrich, 2021). U ovom kontekstu, duboko učenje koristi neuronske mreže koje su dizajnirane da simuliraju način na koji ljudski mozak obrađuje informacije. Svaki sloj neuronske mreže prima ulazne podatke, transformiše ih kroz niz operacija i prenosi ih na naredni sloj. Kroz proces treniranja, mreža automatski prilagođava težine veza između neurona kako bi minimizovala grešku između stvarnih i predviđenih izlaza.

Ovaj proces se ponavlja kroz više iteracija dok se ne postigne željeni nivo tačnosti u predviđanjima (Aggarwal, 2018). Duboko učenje se ističe po svojoj sposobnosti da efikasno obradi velike količine podataka i nauči složene obrasce, što ga čini izuzetno korisnim za zadatke kao što su prepoznavanje slika, prepoznavanje govora, obrada prirodnog jezika, autonomna vožnja i mnogi drugi. Ova tehnika je postigla impresivne rezultate u mnogim oblastima i predstavlja osnovni motor napretka u vještačkoj inteligenciji (Herrmann & Kollmannsberger, 2024).

Prirodni jezik (*Natural Language Processing - NLP*) predstavlja važnu komponentu mašinskog učenja koja se odnosi na sposobnost računarskih sistema da razumiju, interpretiraju i generišu ljudski jezik. Ova tehnologija omogućava sistemima da analiziraju i odgovaraju na ljudski govor, tekstualne poruke ili pisane dokumente na način koji je razumljiv ljudima (van Leeuwen et al., 2024). U osnovi, prirodni jezik omogućava računarima da obrade prirodni jezik na isti način na koji ljudi to rade. Ovo uključuje različite zadatke kao što su prepoznavanje entiteta (imenovanih entiteta, lokacija, datuma, itd.), analiza sentimenta (procjena emocija u tekstu), razumijevanje semantičkog značenja rečenica (interpretacija konteksta), generisanje odgovora na pitanja i prevod teksta sa jednog jezika na drugi (Baclic et al., 2020). Kroz tehnike kao što su statistička analiza, mašinsko učenje i duboko učenje, sistemi prirodnog jezika analiziraju velike količine tekstualnih podataka, identifikuju obrasce i pravila jezičke strukture, te koriste ove informacije za efikasnu obradu i interpretaciju jezičkih podataka (Just, 2024). Prirodni jezik ima široku primjenu u mnogim oblastima kao što su pretraživanje na internetu, automatizovani odgovori na korisničke upite, automatizacija korisničke podrške, analiza sentimenta u društvenim medijima, prevodilački alati i mnogi drugi. Ova tehnologija igra važnu ulogu u poboljšanju interakcije između ljudi i računarskih sistema, omogućavajući im da efikasnije komuniciraju i sarađuju u različitim kontekstima (Chowdhary & Chowdhary, 2020).

Računarski vid (*Computer Vision*) predstavlja komponentu vještačke inteligencije koja se odnosi na sposobnost računarskih sistema da analiziraju i interpretiraju vizuelne informacije iz digitalnih slika ili video zapisa. Ova tehnologija omogućava sistemima da prepoznaju objekte, ljude, scenarije i obrasce u vizuelnom sadržaju na isti način kao što to čine ljudi (Li & Shi, 2018). Koristeći algoritme mašinskog učenja, neuronske mreže i druge tehnike obrade slike, računarski vid omogućava sistemima da izvlače značajne informacije iz vizuelnih podataka i koriste ih za različite svrhe. To može uključivati detekciju objekata i lica, prepoznavanje ljudi, životinja, vozila i drugih entiteta na slici, kao i analizu i klasifikaciju

sadržaja na osnovu karakteristika poput boje, oblika, teksture i položaja. Računarski vid ima široku primjenu u mnogim oblastima kao što su: medicinska dijagnostika, nadzor i sigurnost, robotika, autonomna vožnja, geografski informacioni sistemi, obrada slika u realnom vremenu i mnogi drugi (Szeliski, 2022). Ova tehnologija ima veliki potencijal za poboljšanje efikasnosti, produktivnosti i sigurnosti u različitim industrijskim i svakodnevnim aplikacijama, čineći je osnovnom komponentom u transformaciji digitalnog svijeta (Fang et al., 2020).

Pojačano učenje (*Reinforcement Learning*) predstavlja važnu komponentu vještačke inteligencije koja omogućava agentima da uče kako da donose odluke u određenom okruženju s ciljem maksimizovanja neke forme nagrade. Ova tehnika učenja je inspirisana načinom na koji životinje uče putem interakcije s okolinom i primanja nagrada ili kazni na osnovu svojih akcija (Wiering & Van Otterlo, 2012). U okviru pojačanog učenja, agent donosi odluke na osnovu trenutnog stanja okruženja i prethodnog iskustva, pri čemu teži da maksimizuje ukupnu nagradu koju prima tokom vremena. Ova tehnika je posebno korisna u situacijama gdje postoji složenost u okruženju, gdje su ciljevi višestruki ili kada je potrebno naučiti optimalno ponašanje kroz iskustvo. Primjeri primjene pojačanog učenja uključuju razvoj autonomnih sistema, robotiku, upravljanje resursima, finansijsko tržište i igre (Bertsekas, 2019). Kroz iterativni proces eksperimentisanja i učenja iz iskustva, agenti oblikuju strategije koje vode ka postizanju željenih ciljeva u dinamičnim i nepredvidivim okruženjima. Ova sposobnost pojačanog učenja da se adaptira na promjenljive uslove i optimizuje ponašanje čini ga ključnim alatom u brojnim aplikacijama koje zahtijevaju donošenje složenih odluka u stvarnom vremenu (Ding et al., 2020).

Razumijevanje ovih glavnih komponenti vještačke inteligencije omogućava inženjerima, istraživačima i razvojnim timovima da efikasno primijene ove tehnologije u različitim domenima. Kroz poznavanje mašinskog učenja, dubokog učenja, obrade prirodnog jezika, računarskog vida i pojačanog učenja, stručnjaci mogu kreirati napredne algoritme i sisteme koji mogu analizirati kompleksne setove podataka, razumjeti obrasce, donositi odluke i reagovati na različite scenarije. Primjena vještačke inteligencije obuhvata širok spektar oblasti, uključujući zdravstvo, finansije, transport, industriju, robotiku i mnoge druge (Finlay, 2020). Na primjer, u zdravstvu, ovi alati se mogu koristiti za dijagnostiku bolesti, analizu medicinskih slika i genetskih podataka, personalizaciju terapija i poboljšanje efikasnosti zdravstvenih sistema (Bohr & Memarzadeh, 2020). U finansijskom sektoru, vještačka inteligencija se primjenjuje za analizu tržišta, predviđanje kretanja cijena, upravljanje rizikom i detekciju prevara (Mhlanga, 2020). U transportu, ovi alati omogućavaju razvoj autonomnih

vozila, optimizaciju logistike, upravljanje saobraćajem i unapređenje sigurnosti na putevima (Ma et al., 2020a; Jiang et al., 2022). Kroz kontinuirano istraživanje i implementaciju naprednih tehnika vještačke inteligencije, moguće je ostvariti značajan napredak u različitim industrijama i unaprijediti život ljudi širom svijeta.

2.2. Elementi pametnih gradova: senzori, podaci, mreže i algoritmi

Elementi pametnih gradova, kao što su senzori, podaci, komunikacione mreže i algoritmi, predstavljaju osnovne tehničke komponente infrastrukture koja omogućava funkcionisanje inteligentnih urbanih sistema. Sinergija ovih elemenata omogućava kreiranje gradova koji su ne samo tehnološki napredni, već i održiviji, inkluzivniji i prilagođeni potrebama svojih građana (Campbell, 2013).

Senzori su nezamjenjivi uređaji u infrastrukturi pametnih gradova, igrajući važnu ulogu u prikupljanju podataka o različitim aspektima urbanog okruženja. Ovi uređaji su dizajnirani da mjere različite parametre koji su značajni za kvalitet života u gradovima, kao što su temperatura, vlažnost vazduha, nivo zagađenja, buka, gustina saobraćaja ili broj ljudi na određenim lokacijama (Hancke & Hancke, 2013). Postavljanjem senzora na različitim mjestima u gradu, od centralnih gradskih trgova do frekventnih raskrsnica ili parkova, omogućava se neprestano prikupljanje podataka u realnom vremenu (Campbell, 2013). Na primjer, senzori za kvalitet vazduha mogu detektovati nivoe zagađenja i emitovati upozorenja kada kvalitet vazduha pređe određene granice (Iskandaryan, Ramos & Trilles, 2020). S druge strane, senzori za saobraćaj mogu pratiti protok vozila i pješaka, identifikujući mjesta sa čestim gužvama ili nepravilnostima u saobraćaju. Ovakav tip senzorske mreže omogućava gradskim vlastima da dobiju detaljan uvid u stvarno stanje u gradu u svakom trenutku. Na osnovu ovih podataka, donosioci odluka mogu pravovremeno reagovati na potencijalne probleme, optimizovati resurse i pružiti efikasnije usluge građanima (Ramírez-Moreno et al., 2021). Na primjer, ukoliko senzori registruju visoku gustinu saobraćaja na određenoj raskrsnici, gradske vlasti mogu preduzeti mjere za optimizaciju semafora ili ponuditi alternativne puteve kako bi se smanjile gužve i poboljšao protok saobraćaja (Krishan et al., 2020). Sumiranjem navedenog, senzori su važni elementi pametnih gradova jer omogućavaju neprekidno prikupljanje podataka o urbanoj sredini, što omogućava gradskim vlastima da donose odluke zasnovane na realnim informacijama sa terena i unapređuju kvalitet života svojih građana.

Podaci su neophodni osnov pametnih gradova, omogućavajući donošenje odluka i unapređenje urbanih sredina putem analize stvarnih informacija. Oni se prikupljaju iz različitih

izvora, uključujući senzore postavljene na različitim lokacijama u gradu, kao i javne i privatne baze podataka o različitim aspektima urbanog života. Ovi podaci obuhvataju širok spektar informacija, kao što su informacije o saobraćaju, kvalitetu vazduha, potrošnji energije, demografiji, ekonomiji i javnim uslugama (Bilal et al., 2020). Kada se prikupljaju, ovi podaci prolaze kroz procese obrade, analize i vizuelizacije kako bi se iz njih izvukle korisne informacije. Obrada podataka uključuje čišćenje, organizaciju i transformaciju podataka kako bi bili korisni za dalju analizu. Nakon toga, podaci se analiziraju pomoću različitih tehnika, kao što su statistička analiza, mašinsko učenje i duboko učenje, kako bi se identifikovali obrasci, trendovi i korisne informacije. Konačno, rezultati analize se vizuelizuju putem grafova, mapa, izvještaja i drugih vizuelnih alata kako bi bili lakše razumljivi i korisni za donosiocima odluka (Chilipirea et al., 2017; Oladipo et al., 2021). Ovi podaci i informacije koje se iz njih dobijaju omogućavaju gradskim vlastima da bolje razumiju stanje grada u realnom vremenu, identifikuju glavne probleme i prilike te donesu odluke zasnovane na informacijama o upravljanju gradskim resursima i pružanju usluga građanima. Na primjer, analiza podataka o saobraćaju može pomoći u optimizaciji saobraćajnih tokova i smanjenju gužvi, dok analiza podataka o potrošnji energije može dovesti do efikasnijeg korišćenja resursa i smanjenja emisije ugljen-dioksida. Tako podaci igraju značajnu ulogu u transformaciji urbanih prostora u pametne, održive i inkluzivne gradove (Singh et al., 2023).

Komunikacione mreže su ključni infrastrukturni elementi u okviru pametnih gradova, omogućavajući komunikaciju i razmjenu podataka između senzora, uređaja i sistema. Ova komponenta obuhvata širok spektar tehnologija, uključujući bežične i žičane mreže koje omogućavaju povezivanje i komunikaciju između različitih uređaja i sistema u gradu (Campbell, 2013). Bežične mreže poput Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee i LoRaWAN omogućavaju povezivanje uređaja na različitim lokacijama u gradu bez potrebe za fizičkim kablovima. Ove mreže su posebno korisne za senzore raspoređene na različitim mjestima u gradu, jer omogućavaju brzu i fleksibilnu instalaciju (Ahuja & Khosla, 2019). Sa druge strane, žičane mreže poput Ethernet-a i fiberoptičkih kablova pružaju pouzdanu i visokokapacitivnu infrastrukturu za prenos podataka između centralnih lokacija ili servera (Karamitsos & Apostolopoulos, 2018). Pored toga, cloud infrastruktura igra bitnu ulogu u pametnim gradovima pružajući prostor za skladištenje i obradu velikih količina podataka. Podaci prikupljeni putem senzora i drugih uređaja često se šalju u cloud na dalju analizu i obradu. Ova centralizovana infrastruktura omogućava gradskim vlastima da efikasno upravljaju podacima i koriste ih za donošenje odluka zasnovanih na prikupljenim informacijama (Rani, Kashyap &

Khurana, 2022). U suštini, mreže su vitalni dio infrastrukture pametnih gradova jer omogućavaju komunikaciju i razmjenu podataka između različitih uređaja i sistema, što doprinosi efikasnom funkcionisanju i upravljanju urbanom sredinom.

Algoritmi predstavljaju značajnu komponentu u pametnim gradovima, jer omogućavaju analizu podataka, donošenje odluka i upravljanje sistemima na efikasan način. Ovi programski alati su esencijalni za automatizaciju procesa, optimizaciju resursa i predviđanje budućih scenarija u urbanim sredinama (Ko et al., 2014). U kontekstu pametnih gradova, algoritmi se koriste za različite svrhe, od koordinacije saobraćaja i upravljanja energetske sistemima do optimizacije rada javnih usluga i predviđanja potreba građana. Na primjer, algoritmi za upravljanje saobraćajem mogu analizirati podatke o gustini saobraćaja i prilagođavati semafore ili putanje vozila kako bi se smanjile gužve i vrijeme putovanja. Takođe, algoritmi za optimizaciju rada javnih usluga mogu analizirati podatke o potražnji i resursima kako bi efikasno rasporedili radnu snagu ili vozni park (Li et al., 2016). Jedna od osnovnih uloga algoritama u pametnim gradovima je predviđanje budućih potreba i identifikacija potencijalnih problema u urbanom okruženju. Na primjer, algoritmi mogu analizirati trendove u potrošnji energije ili demografske promjene kako bi predvidjeli buduće potrebe i usmjerili resurse u skladu sa tim (O'Dwyer et al., 2019; Ghorbani et al., 2023). Takođe, algoritmi mogu identifikovati probleme kao što su nedostaci u infrastrukturi ili oblasti sa visokom stopom zagađenja kako bi se preduzele odgovarajuće akcije za rješavanje tih problema (Estrada et al., 2019). Sumiranjem navedenog, algoritmi su važna komponenta u pametnim gradovima jer omogućavaju efikasnu analizu podataka, donošenje odluka na osnovu informacija i upravljanje različitim aspektima urbanih sredina, što doprinosi unapređenju kvaliteta života i efikasnosti gradskih usluga.

3. PRIMJENE VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PAMETNIM GRADOVIMA – PRIMJER PROBLEMA I RJEŠENJA, PREDNOSTI, NEDOSTACI

3.1. Saobraćaj

Urbanizacija uzrokuje značajan porast broja vozila, česta saobraćajna zagušenja, povećanje mogućnosti nesreća i pogoršanje kvaliteta vazduha. Tradicionalni semaforški sistemi, planiranje javnog prevoza i centralizovana kontrola ne mogu efikasno odgovoriti na dinamične i složene potrebe modernih gradova. Vještačka inteligencija donosi paradigmatšku promjenu: koristi obradu podataka u realnom vremenu, predviđa tokove prometa te automatski optimizuje semaforški režim i pokreće kontrolu incidenata, što rezultira boljom protočnošću, sigurnošću i ekološkom efikasnošću.

Dinamičko upravljanje semaforima i protokom saobraćaja – SURTRAC (*Scalable Urban Traffic Control*) je decentralizovani sistem adaptivne kontrole semafora razvijen pri Univerzitetu Karnegi Melon. Svaki semafor automatski procjenjuje priliv (broj) vozila i lokalno kreira plan zelene faze, istovremeno dijeleći predviđene podatke o izlaznom saobraćaju s okolnim raskrscima radi kreiranja koordinisanih zelenih koridora. Pilot implementacija na devet raskrsnica u East Liberty (Pitsburg, SAD) u junu 2012. godine pokazala je 25 % smanjenje prosječnog vremena putovanja, 40 % smanjenje vremena čekanja, i preko 20 % smanjenje emisija CO₂ i drugih štetnih gasova. Proširenje mreže na 49 raskrsnica do 2015. pokazalo je slične rezultate, a analize su pokazale povoljan odnos koristi i troškova (~20:1) u petogodišnjem periodu. Dodatnu vrijednost donosi integracija pješaka, biciklista i javnog prevoza, kao i podrška za tehnologije poput DSRC-a (*Dedicated Short Range Communications*) na odabranim signalnim tačkama (Intelligent Coordination and Logistics Laboratory, n.d.; University Transportation Centers Program, 2018).

Upotreba vještačke inteligencije u upravljanju saobraćajem: GPlight, IG-RL i savremene metode – Jedan od glavnih izazova pametnih gradova jeste efikasno upravljanje složenim i dinamičnim saobraćajnim tokovima. Tradicionalni pristupi često nisu dovoljno fleksibilni da odgovore na brzo mijenjanje uslova u realnom vremenu. Upravo tu značajnu ulogu preuzima vještačka inteligencija, naročito u kombinaciji modela grafičkih neuronskih mreža (*Graph Neural Networks – GNN*) i pojačanog učenja. Jedan od najinovativnijih pristupa u ovom domenu predstavlja GPlight – arhitektura koja integriše grafičke neuronske mreže i

pojačano učenje u svrhu optimizacije semaforne regulacije u urbanim sredinama. Prvo, komponenta grafičke neuronske mreže koristi istorijske i trenutne podatke sa senzora da bi precizno predvidjela tok saobraćaja za kratkoročni vremenski period. Ove informacije se zatim koriste kao ulaz za agenta učenja s pojačanjem, koji uči da donosi optimalne odluke o redosljedu i trajanju semafornih faza na osnovu postignutih rezultata, kao što su smanjenje zastoja, vremena čekanja i broja zaustavljanja. Eksperimentalne simulacije koje su sprovedene u urbanim saobraćajnim mrežama gradova kao što su Hangdžou (Kina) i Njujork (SAD) pokazale su da GPLight značajno smanjuje ukupno vrijeme čekanja, broj zaustavljanja i dužinu zastoja. Posebno je značajno da ova metoda ostaje efikasna čak i u uslovima vrlo kompleksnih mreža koje obuhvataju hiljade raskrsnica, što je čini skalabilnom za velike urbane sredine (Liu et al., 2023). Pored GPLight arhitekture, slične rezultate je pokazao i metod induktivnog grafovskog pojačanog učenja (*Inductive Graph Reinforcement Learning – IG-RL*), koji koristi prednosti grafičkih neuronskih mreža kako bi omogućio tzv. prenos učenja – sposobnost da se modeli trenirani na jednoj mreži primijene na drugu bez potrebe za dodatnom obukom. Ovo omogućava znatno veću fleksibilnost i ekonomičnost u implementaciji sistema u različitim gradovima sa različitim saobraćajnim konfiguracijama (Devailly et al., 2020). Takođe, savremeni algoritmi iz oblasti dubokog pojačanog učenja (engl. *Deep Reinforcement Learning – DRL*), koji koriste tehnike poput ponovnog korišćenja iskustava (*experience replay*) i ciljnih mreža (*target networks*) (npr. algoritmi DQN i PPO), pokazali su visok stepen efikasnosti. U eksperimentalnim simulacijama ovakvi sistemi su doveli do smanjenja kašnjenja vozila za čak 47 % do 86 %, u poređenju sa konvencionalnim metodama upravljanja saobraćajem, što potvrđuje njihov potencijal za široku primjenu (Gao et al., 2017). Ono što ove metode čini posebno atraktivnim jeste njihova mogućnost donošenja odluka u realnom vremenu, sposobnost adaptacije na neočekivane promjene u saobraćaju (npr. nesreće, radovi na putu), kao i podrška za integraciju sa drugim pametnim sistemima, uključujući autonomna vozila i pametnu infrastrukturu.

Optimizacija javnog prevoza – Jedan od savremenih pristupa optimizaciji javnog prevoza je model optimizacije rasporeda zasnovan na dubokom pojačanom učenju (*Deep Reinforcement Learning-based Timetable Optimization – DRL-TO*) koji su razvili Ai i saradnici (2022). Ovaj sistem koristi algoritam Deep Q-Network (DQN) kako bi u realnom vremenu donosio odluke o korigovanju rasporeda polazaka autobusa, i to na minutnom nivou. Odluke se baziraju na analizi stvarne potražnje, uključujući podatke o trenutnoj popunjenosti vozila, broju putnika koji čekaju na stajalištima i stepenu iskorišćenosti kapaciteta. Nagradna

funkcija u modelu pažljivo balansira između efikasnog korišćenja kapaciteta (da vozila ne voze prazna) i smanjenja vremena čekanja i broja nezadovoljenih putnika. Eksperimenti su pokazali da DRL-TO uspijeva da smanji broj aktivnih autobusa za oko 8 %, dok prosječno vrijeme čekanja putnika opada za 17 %, u poređenju sa tradicionalnim metodama kao što su genetski algoritmi i memetičke strategije (Ai et al., 2022). Zhai i Shen (2023) su razvili napredni prediktivni model rekurentne neuronske mreže sa graf-konvolucijom zasnovanom na difuziji (*Graph Diffusion Convolutional Recurrent Neural Network – GDC-RNN*), koji objedinjuje topološke karakteristike transportne mreže i istorijske podatke o putničkim tokovima kako bi unaprijedio tačnost kratkoročnog predviđanja broja putnika po linijama i stajalištima. Ovaj model je testiran na javnom autobuskom sistemu u Šangaju i pokazao je oko 5 % veću preciznost u odnosu na konvencionalne arhitekture rekurentne neuronske mreže (RNN). Povećana tačnost predikcije omogućava efikasnije raspoređivanje vozila i bolje planiranje voznog reda, čime se poboljšava ukupna pouzdanost sistema javnog prevoza (Zhai & Shen, 2023). Zhang i saradnici (2020) predstavili su model ResLSTM, koji kombinuje tri napredne tehnologije: rezidualnu mrežu (*ResNet*), graf-konvolucionu mrežu (*Graph Convolutional Network – GCN*) i rekurentnu neuronsku mrežu sa dugoročnom i kratkoročnom memorijom (*Long Short-Term Memory – LSTM*). Cilj ovog modela je predviđanje protoka putnika u mreži metro sistema grada Pekinga. Pored standardnih ulaznih podataka, model uzima u obzir i dodatne faktore kao što su vremenski uslovi i kvalitet vazduha, koji takođe utiču na kretanje putnika. Rezultati ukazuju na visok nivo preciznosti prilikom predviđanja opterećenja linija u vremenskim intervalima od 10, 15 i 30 minuta, što omogućava pravovremeno planiranje broja vagona i sprječava preopterećenje linija, posebno u špicovima (Zhang, Chen & Guo, 2020).

Detekcija incidenata i upravljanje bezbjednošću – U savremenim pametnim gradovima, bezbjednost u saobraćaju predstavlja jedan od osnovnih izazova. Gužve, saobraćajne nezgode i neefikasno upravljanje incidentima ne samo da ugrožavaju živote građana, već i značajno usporavaju urbani protok. Vještačka inteligencija sve češće se koristi kao alat za unapređenje sistema bezbjednosti i upravljanje incidentima u realnom vremenu. Kroz integraciju senzora, nadzornih kamera, IoT uređaja i naprednih algoritama, omogućava se pravovremeno prepoznavanje i reagovanje na kritične situacije u saobraćaju. Jedan od efikasnih pristupa jeste korišćenje algoritama dubokog učenja za otkrivanje anomalija u saobraćajnim tokovima. Alizadeh Shabestary i Abdulhai (2022) razvili su model baziran na principima dubokog pojačanog učenja, koji koristi podatke o brzini, gustini i protoku vozila sa senzora postavljenih u mreži pametnog grada. Umjesto ručnog označavanja incidenata, sistem

uči da prepoznaje odstupanja od normalnog toka saobraćaja, čime omogućava automatsku detekciju saobraćajnih nezgoda i kašnjenja u realnom vremenu (Alizadeh Shabestary & Abdulhai, 2022). Analiza video snimaka iz nadzornih sistema dodatno unapređuje mogućnosti detekcije. Ghahremannezhad, Shi i Liu (2022) predstavili su sistem koji koristi kombinaciju YOLOv4 algoritma i Kalmanovog filtera za prepoznavanje i praćenje vozila, kao i za otkrivanje incidenata i potencijalno opasnih situacija, poput naglog kočenja, sudara ili zastoja. Ovaj pristup omogućava gradskim službama da odmah identifikuju krizna mjesta i pokrenu mjere zaštite, poput preusmjeravanja saobraćaja ili aktivacije hitnih službi (Ghahremannezhad, Shi & Liu, 2022). Posebno važan napredak u oblasti pametnih gradova predstavljaju prostorno-vremenski modeli vještačke inteligencije koji kombinuju vizuelne podatke sa vremenskim obrascima kretanja vozila. Adewopo i Elsayed (2024) su razvili model I3D-CONVLSTM2D koji omogućava klasifikaciju različitih vrsta saobraćajnih incidenata korišćenjem video snimaka sa kamera u realnom vremenu. Prednost ovog rješenja je mogućnost instalacije direktno na uređaje u gradskom prostoru (tzv. *edge computing*), što omogućava bržu i lokalizovanu obradu podataka, bez potrebe za slanjem informacija u centralizovane servere (Adewopo & Elsayed, 2024). Pored same detekcije, vještačka inteligencija se koristi i za predikciju potencijalno rizičnih situacija. Qu i saradnici (2024) razvili su višeslojni model koji analizira prostorne i vremenske obrasce saobraćaja u gradskim sredinama, kombinujući podatke sa senzora, kamera i istorijskih incidenata. Na taj način, moguće je predvidjeti kada i gdje bi moglo doći do nesreće, što gradskim upravama daje mogućnost da preventivno djeluju – kroz promjenu semaforских režima, preusmjeravanje saobraćaja ili raspoređivanje patrola i hitnih službi (Qu et al., 2024).

Primjena vještačke inteligencije u upravljanju saobraćajem pametnih gradova predstavlja značajan korak ka efikasnijem, sigurnijem i ekološki prihvatljivijem urbanom prometu. Sistemi vještačke inteligencije, kao što su dinamičko upravljanje semaforima putem decentralizovanih modela poput SURTRAC-a i naprednih metoda zasnovanih na grafičkim neuronskim mrežama i pojačanom učenju, omogućavaju prilagođavanje u realnom vremenu na dinamične uslove saobraćaja. Rezultati ovih tehnologija pokazuju značajno smanjenje vremena čekanja, ukupnog trajanja putovanja i emisija štetnih gasova, uz povećanje protočnosti i sigurnosti. Takođe, vještačka inteligencija unapređuje organizaciju javnog prevoza kroz optimizaciju rasporeda i preciznije predviđanje potražnje, što doprinosi boljoj iskorišćenosti vozila i smanjenju broja praznih polazaka. Detekcija saobraćajnih incidenata i anomalija putem kombinacije senzora, video nadzora i tehnologija obrade podataka na ivici mreže omogućava

pravovremene reakcije i upravljanje kriznim situacijama, dok prediktivni modeli pomažu u prevenciji nezgoda i boljem planiranju resursa.

Ipak, ova tehnologija donosi i određene izazove. Implementacija zahtijeva značajne investicije u infrastrukturu, računarske kapacitete i specijalizovane kadrove, što može biti prepreka za manje razvijene gradove. Pouzdanost sistema u velikoj mjeri zavisi od kvaliteta i dostupnosti podataka, a tehnički problemi ili nedovoljna zaštita privatnosti mogu ugroziti efikasnost i prihvatljivost ovih rješenja. Kompleksnost integracije različitih sistema vještačke inteligencije i njihova interakcija sa postojećom infrastrukturom povećavaju rizik od grešaka, naročito u nepredvidivim situacijama, zbog čega je i dalje potrebna ljudska kontrola. Takođe, upotreba video nadzora i prikupljanje velikih količina podataka pokreću važne etičke i pravne dileme vezane za zaštitu privatnosti i sigurnost informacija. Na kraju, neravnomjeran razvoj tehnološke infrastrukture može produbiti digitalne i ekonomske nejednakosti među gradovima, ograničavajući široku primjenu ovih inovativnih rješenja.

3.2. Kvalitet vazduha

Kvalitet vazduha predstavlja jedan od osnovnih faktora zdravlja i kvaliteta života u urbanim sredinama, a njegovo praćenje i predviđanje su neophodni za pravovremene mjere zaštite stanovništva. Tradicionalne metode često ne uspijevaju da obrade složene i dinamične prostorno-vremenske obrasce širenja zagađenja, zbog čega se vještačka inteligencija, naročito modeli zasnovani na grafovima i dubokom učenju, nameću kao efikasno rješenje. Primjena modela poput prostorno-vremenske rekurentne neuronske mreže sa graf-konvolucijom (*Spatiotemporal Graph Convolutional Recurrent Neural Network – Spatiotemporal GCRNN*) omogućava integraciju geografskih i vremenskih podataka iz senzorskih mreža za precizno predviđanje nivoa zagađujućih čestica PM_{2.5} u realnom vremenu. Le (2023) je pokazao da ovaj pristup, implementiran na podacima iz kineskih gradova, znatno poboljšava preciznost u odnosu na klasične modele poput ConvLSTM, istovremeno smanjujući troškove računarske obrade, što je ključno za skalabilnost sistema u velikim urbanim područjima. Dalje, Xu i saradnici (2021) su razvili hijerarhijski model pod nazivom HighAir, koji kroz grafovsku neuronsku mrežu (GNN) strukturira podatke na dva nivoa – pojedinačnih senzorskih stanica i blokova unutar gradske mreže. Ova arhitektura omogućava modelu dinamičko prilagođavanje na osnovu meteoroloških uslova, poput vjetra, čime se efikasnije hvata prostorna difuzija zagađenja. Testiranja na području delte rijeke Jangce u Šangaju pokazala su da HighAir pruža stabilnije i preciznije prognoze u poređenju sa tradicionalnim vremenskim modelima, što

direktno doprinosi boljem planiranju mjera za kontrolu zagađenja (Xu et al., 2021). Još jedan značajan doprinos predstavlja hibridni model koji kombinuje grafovsku neuronsku mrežu i LSTM mreže za regionalno predviđanje koncentracija PM_{2.5} u kineskim gradovima Peking i Tianjin. Ovaj model uzima u obzir topološke veze između senzora i vremenske obrasce, te je u testovima pokazao značajno povećanje koeficijenta determinacije (R^2) sa 0.60 na 0.79 u 72-časovnim prognozama. Posebno je efikasan u periodima visokog zagađenja, kada pravovremene i precizne informacije imaju najvažniju ulogu za javno zdravlje (Teng et al., 2023). Uz to, Raj, Smith i Hayes (2025) su predstavili hibridni CNN-LSTM model koji koristi transferno učenje kako bi se poboljšala predviđanja na lokacijama sa nedostatkom istorijskih podataka, što je čest problem u novim ili manje razvijenim mrežama senzora. Ovaj pristup omogućava modelu da iskoristi znanja stečena na drugim lokacijama i efikasnije predviđa koncentracije zagađujućih supstanci poput PM₁₀ i NO₂, uz poboljšanje tačnosti od oko 7% do 8% u poređenju sa lokalno treniranim modelima. Time se značajno povećava dostupnost i pouzdanost informacija u cijelom gradskom području, čak i tamo gdje senzorska mreža još nije u potpunosti razvijena (Raj, Smith & Hayes, 2025).

Prednosti ovih pristupa ogledaju se prvenstveno u visokoj preciznosti i mogućnosti prostorno-vremenskog modeliranja složenih obrazaca zagađenja, kao i u njihovoj skalabilnosti zahvaljujući tehnikama kao što je transferno učenje. Međutim, izazovi uključuju potrebu za konstantnim i visokokvalitetnim podacima iz široke mreže senzora, kao i značajne računске resurse za obuku i rad ovih dubokih modela, što može otežati njihovu primjenu u realnim uslovima bez adekvatne infrastrukturne podrške. Takođe, usklađivanje ovih sistema sa postojećim gradskim upravljanjem i očuvanje privatnosti podataka predstavljaju dodatne aspekte na koje treba obratiti pažnju. Sumiranjem navedenog, primjena vještačke inteligencije kroz sofisticirane modele bazirane na grafovima i rekurentnim neuronskim mrežama predstavlja značajan korak ka unapređenju kvaliteta vazduha u pametnim gradovima. Ovi sistemi omogućavaju pravovremene i precizne prognoze, koje pomažu u donošenju efikasnijih mjera zaštite i planiranja, čime direktno doprinose poboljšanju životne sredine i zdravlja građana.

3.3. Upravljanje sistemom voda, odlaganja i upravljanja otpadom

U savremenim pametnim gradovima, upravljanje sistemima za vodu, kanalizaciju i otpad predstavlja jedan od glavnih izazova urbanog razvoja. Ovi sistemi moraju istovremeno da osiguraju pouzdano snabdijevanje, ekološku održivost, efikasnost resursa i odgovarajuće

javno zdravlje. Integracijom vještačke inteligencije i IoT, gradske uprave mogu uspostaviti prediktivne, automatizovane i skalabilne mehanizme koji značajno unapređuju donošenje odluka, smanjuju operativne troškove i doprinose cirkularnoj ekonomiji.

U domenu vodosnabdijevanja, modeli vještačke inteligencije sve češće se koriste za otkrivanje curenja, optimizaciju pritiska i upravljanje infrastrukturom. Das (2024) pokazuje da kombinacija IoT senzora i algoritama dubokog učenja omogućava ne samo brzo prepoznavanje curenja u cijevima, već i prediktivnu dijagnostiku kvarova prije njihovog nastanka. Koristeći podatke o promjenama pritiska, protoka i vibracija, agenti vještačke inteligencije donose odluke o trenutnim intervencijama, što znatno smanjuje gubitke vode u urbanim mrežama. Primjena vještačke inteligencije u kombinaciji sa Raman spektroskopijom predstavlja značajan napredak u detekciji mikrozagađivača u sistemima za prečišćavanje vode unutar pametnih gradova. Korišćenjem konvolucionih neuronskih mreža (CNN), moguće je automatski i vrlo precizno analizirati kompleksne spektre kako bi se identifikovale čestice mikroplastike i drugi zagađivači u realnom vremenu. Lim, Shin i Shin (2024) razvili su CNN model za klasifikaciju mikroplastike veličine ispod 10 mikrometara u vodenim uzorcima koristeći Raman spektroskopiju, postizući tačnost od 97,8%. Ovaj sistem omogućava brzo prepoznavanje i kvantifikaciju zagađivača, što je važno za pravovremenu reakciju u procesima prečišćavanja vode i smanjenju rizika po zdravlje stanovništva. Sličan pristup koristili su Weber, Zinnen i Kerpen (2023), koji su implementirali duboko učenje u analizi više desetina hiljada Raman spektara iz okolnih uzoraka, ostvarivši preciznost identifikacije mikroplastike veću od 97% i visoku pouzdanost u prepoznavanju različitih tipova čestica. Takva tehnologija omogućava efikasniju kontrolu kvaliteta vode i unapređenje sistema upravljanja otpadnim vodama u urbanim sredinama (Weber, Zinnen & Kerpen, 2023). Pored mikroplastike, vještačka inteligencija u kombinaciji sa laserskom Raman spektroskopijom se koristi i za detekciju farmaceutskih i drugih mikropolutanata u otpadnim vodama. Post i saradnici (2022) su prikazali sistem za praćenje nivoa farmaceutskih mikropolutanata u realnom vremenu, koristeći CNN model za obradu spektra iz različitih faza prečišćavanja. Preciznost detekcije premašuje 95%, što omogućava pravovremeno prilagođavanje procesa prečišćavanja i smanjenje opasnosti od štetnih supstanci u gradskim vodama (Post et al., 2022). Ovi primjeri jasno ukazuju na potencijal integracije vještačke inteligencije i naprednih senzorskih tehnologija za unapređenje sistema upravljanja vodom u pametnim gradovima. Automatska i precizna detekcija zagađivača omogućava optimizaciju procesa prečišćavanja, smanjenje troškova i poboljšanje ekološke i javnozdravstvene sigurnosti.

Vještačka inteligencija se takođe koristi za inteligentno upravljanje kanalizacionim sistemima i tretmanom otpadnih voda. Prema pregledu koji su proveli Dada et al. (2024), algoritmi poput vještačkih neuronskih mreža (ANN), metoda glavnih komponenti (PCA) i modela konvolucionih neuronskih mreža (CNN) mogu se koristiti za detekciju abnormalnosti u protoku i sastavu otpadne vode. Ovi modeli omogućavaju proaktivno upravljanje postrojenjima, smanjujući upotrebu hemikalija i povećavajući energetska efikasnost. Na primjer, automatizovana kontrola procesa oksidacije i dezinfekcije dovodi do smanjenja potrošnje sredstava za tretman do 25% i smanjenja potrošnje energije u aeracionim sistemima (sistemima za snabdijevanje kiseonikom) za više od 30% (Das, 2024).

U oblasti upravljanja komunalnim otpadom, vještačka inteligencija omogućava inteligentnu segmentaciju, predviđanje punjenja i optimizaciju ruta sakupljanja. Sah (2024) je razvio sistem baziran na pametnim kantama sa ultrazvučnim senzorima i algoritmima za predikciju, koji su omogućili smanjenje bespotrebnih (praznih) vožnji za 40% i pad operativnih troškova za 30%. Još jedan primjer dolazi iz studije koju su sproveli Sulistio i Ahmad (2024), gdje su testirane poluautonomne kante za filtraciju otpada. Njihov sistem, uz pomoć analitike vještačke inteligencije, omogućio je povećanje efikasnosti sakupljanja za 15–23% i porast stope reciklaže za 10–17%. Ovi rezultati pokazuju koliko je značajna uloga inteligentnih sistema za precizno planiranje logistike u gradovima sa rastućim demografskim opterećenjem (Sulistio & Ahmad, 2024).

Kategorizacija otpada u realnom vremenu, kao dio pametnih tačaka odlaganja, dodatno povećava efikasnost sortiranja i čistoću reciklažnih tokova. White et al. (2020) razvili su sistem WasteNet, zasnovan na modelu konvolucionih neuronskih mreža (CNN) implementiranom direktno na ivici mreže, koji prepoznaje šest kategorija otpada (papir, plastika, staklo, metal, karton, ostalo) sa preciznošću od 97%. Ovaj model omogućava korisnicima da pravilno odlažu otpad bez potrebe za dodatnom edukacijom, dok ConvoWaste, sistem razvijen za industrijsku upotrebu, koristi vizuelnu analizu dubokog učenja i servo-mehaničke manipulatore za automatsko razvrstavanje otpada uz tačnost od 98% (Nafiz et al., 2023). Takvi sistemi omogućavaju obradu velikih količina otpada bez ljudske intervencije, smanjujući troškove i povećavajući kvalitet sekundarnih sirovina.

Važno je istaći da implementacija ovih tehnologija ne funkcioniše izolovano već u okviru šireg koncepta pametnih gradova, gdje su svi sistemi međusobno povezani i upravljani kroz centralizovane platforme za odlučivanje. Time se ne samo automatizuju procesi već

omogućava i cirkularna upotreba resursa – na primjer, ponovna upotreba tretirane otpadne vode za navodnjavanje, ili korišćenje biootpada za proizvodnju energije. Ipak, implementacija vještačke inteligencije u sektoru voda i otpada nosi i određene izazove. Neophodna je standardizacija komunikacijskih protokola između uređaja, usklađivanje sa zakonima o zaštiti podataka (posebno kada su korisnički obrasci uključeni), kao i edukacija kadra koji će upravljati i održavati te sisteme. Takođe, dugoročna održivost zahtijeva modele finansiranja koji uključuju javno-privatna partnerstva i podsticaje za inovacije.

3.4. Energija

U kontekstu pametnih gradova, energetska tranzicija predstavlja centralni izazov: potrebno je optimalno upravljati potrošnjom, integrisati obnovljive izvore i osigurati stabilnu distribuciju. Vještačka inteligencija, zajedno s IoT, digitalnim dvostrukim modelima i tehnologijama pametne mreže, pruža sofisticirane alate za predikciju, kontrolu i optimizaciju urbanih energetske sistema.

Precizno predviđanje potrošnje – U savremenim pametnim gradovima, predviđanje potrošnje električne energije predstavlja bitan element efikasnog upravljanja resursima, naročito u uslovima sve veće urbanizacije, decentralizacije proizvodnje energije i rastuće potrebe za uključivanjem građana u energetske sistem. Vještačka inteligencija u ovom kontekstu omogućava razvoj sistema koji mogu prediktivno razumjeti i upravljati obrascima potrošnje u realnom vremenu, uzimajući u obzir varijabilnosti izazvane ljudskim ponašanjem, vremenskim uslovima, vrstom objekta i vrstom potrošača.

LSTM modeli, kao grana rekurentnih neuronskih mreža, pokazali su se izuzetno efikasnim za predikciju potrošnje električne energije u gradskim sredinama. Kaur et al. (2020) analizirali su performanse LSTM i Bayesian LSTM (BLSTM) modela u kontekstu pametnih mreža koristeći stvarne podatke iz gradskih zona u Australiji (Victorian dataset) i SAD-u (AEP dataset). U poređenju sa tradicionalnim modelima poput ARIMA, ovi su modeli ostvarili značajno nižu srednju kvadratnu grešku (RMSE), uz visoku otpornost na sezonske oscilacije i nelinearne obrasce koji su karakteristični za urbane potrošačke navike. Posebno su efikasni kod predikcije potrošnje u stambenim zgradama, poslovnim prostorima i urbanim blokovima gdje su obrasci potrošnje izrazito kompleksni i zavise od vremenskih prilika, rasporeda rada, navika korisnika i tipova uređaja (Kaur et al., 2020).

Na sličan način, Miah et al. (2023) razvili su LSTM model prilagođen za kratkoročno predviđanje u velikim američkim gradovima koristeći podatke iz elektrodistributivnih mreža kao što su PJM, AEP i ComEd. Njihov model je postigao srednju apsolutnu grešku od samo 1,4%, što je omogućilo bolju procjenu dnevnih i satnih varijacija potrošnje, posebno važno za balansiranje ponude i potražnje tokom sati najveće potrošnje. Takva preciznost ima direktan uticaj na život građana, jer omogućava fleksibilnije upravljanje tarifama, automatsko prilagođavanje kućnih uređaja, smanjenje troškova i emisija CO₂, te stabilniji sistem napajanja bez zastoja (Miah et al., 2023).

U urbanim sredinama gdje je integracija obnovljivih izvora energije (posebno solarne i vjetroenergije) prioritet, predikcija potrošnje omogućava operatorima mreže da koordinišu proizvodnju i potrošnju u realnom vremenu, čime se smanjuje potreba za fosilnim rezervama i povećava energetska nezavisnost gradova. Roy et al. (2021) su pokazali da pravilno obučeni LSTM modeli ne samo da predviđaju potrošnju na nivou objekta, već mogu i integrisati podatke sa brojnih IoT senzora (temperatura, prisutnost ljudi, vlažnost, itd.), čime se energetska sistem povezuje direktno s ljudskim ponašanjem u prostoru.

Osim na nivou potrošača, vještačka inteligencija omogućava gradskim vlastima i distributerima da razviju prediktivne platforme za optimizaciju energetske mreže. Primjer toga je Punggol Digital District u Singapuru, gdje se koristi pametna mreža na nivou distrikta zasnovana na AIoT platformi, koja analizira podatke sa senzora i pametnih brojlara. U realnom vremenu upravlja baterijskim sistemima, solarnim panelima i potrošnjom u zgradi kako bi optimizovala distribuciju energije – uključujući maksimalno opterećenje i balansiranje opterećenja – čime se značajno smanjuju troškovi i emisione stope, istovremeno osiguravajući neprekidnu energiju u kritičnim zonama poput bolnica i saobraćajnih čvorišta. Slično, nacionalne inicijative u Singapuru bazirane na tehnologijama pametnih energetske mreže koje koriste vještačku inteligenciju ciljaju na smanjenje potrošnje energije preko 50 %, prediktivno održavanje i dinamičku regulaciju potrošnje koja uključuje i potrošače (građane) i industrijske sisteme (Rogerson, 2024).

Važno je istaći da su prediktivni modeli najefikasniji kada uključuju ljudske obrasce ponašanja – od svakodnevnog korištenja uređaja, do sezonskih migracija i urbanih događanja. Napredne arhitekture poput BLSTM i Transformer modela integrišu semantičke informacije, poput vremenske prognoze i kalendara događaja, s stvarnim mjerenjima potrošnje iz IoT mreže. Na primjer, Gokhale i saradnici (2023) demonstrirali su upotrebu Transformer-XL

modela sa transfer learningom kako bi mogli predvidjeti potrošnju energije domaćinstva na nivou od 15 minuta unaprijed, uz ~15% smanjenje srednje apsolutne greške, i omogućili preciznije upravljanje potrošnjom u realnom vremenu. Ovakvi modeli ne samo da povećavaju pouzdanost predviđanja, već i omogućavaju elektranama i distributerima da anticipiraju maksimalna opterećenja i automatski prilagođavaju tokove energije – štiteći kritičnu infrastrukturu i smanjujući rizik od prekida napajanja u gradovima.

Sumiranjem navedenog, uloga vještačke inteligencije u predikciji potrošnje u pametnim gradovima nije samo tehnička – ona omogućava i društvenu inkluziju građana u energetske sistem. Kroz aplikacije koje vizuelizuju ličnu potrošnju, prijedloge za štednju i gamifikovane modele ponašanja, građani postaju aktivni učesnici u tranziciji ka održivim i inteligentnim gradovima.

Pametno upravljanje potrošnjom i odziv na potražnju – Vještačka inteligencija omogućava automatsko i dinamičko upravljanje energetskom potrošnjom putem sistema odgovora na potražnju. Ovi sistemi koriste podatke u realnom vremenu da bi prilagodili potrošnju korisnika stanju na mreži, cijeni električne energije i dostupnosti resursa. Pham i saradnici (2021) ističu da se duboke neuronske mreže, uključujući konvolucione i rekurentne modele, koriste za predviđanje opterećenja, upravljanje troškovima i detekciju nelegalne potrošnje u više scenarija pametnih gradova. Ovakva predikcija omogućava fleksibilnu potrošnju, optimizaciju vremena korištenja uređaja i automatsko isključivanje/uključivanje potrošača u skladu s mrežnim uslovima. To je posebno značajno u domaćinstvima i poslovnim objektima koji koriste obnovljive izvore poput solarnih panela, gdje je vještačka inteligencija u stanju da automatski odluči kada trošiti, skladištiti ili distribuisati energiju unutar lokalne mikro mreže. Za građane, ovakvi sistemi znače niže račune za energiju, veću autonomiju u upravljanju potrošnjom i manji ekološki otisak (Pham et al., 2021).

Integracija obnovljivih izvora i skladištenje energije – Vještačka inteligencija igra važnu ulogu u integraciji nestalnih obnovljivih izvora energije (npr. sunčeve i vjetroenergije) u gradske energetske mreže. U skladu s analitičkim pregledom koji nude Zheng i saradnici (2024), vještačka inteligencija značajno unapređuje upravljanje distribucijom i skladištenjem energije optimizujući rad baterijskih sistema, vršeći prediktivno održavanje i balansirajući mreže s visokim udjelom obnovljivih izvora. Korišćenjem vremenskih serija i klimatskih podataka, vještačka inteligencija može predvidjeti proizvodnju energije iz solarnih panela ili vjetroturbina i uskladiti je s očekivanom potrošnjom. Ovi uvidi omogućavaju automatsko

upravljanje punjenjem i pražnjenjem baterija, što smanjuje stres na mrežu i povećava stabilnost. Građani time dobijaju stabilnije i pouzdanije snabdijevanje, a gradovi smanjuju zavisnost od fosilnih goriva i emisije CO₂.

Digitalni dvostruki modeli i pametni objekti – Digitalni dvostruki modeli omogućavaju sinhronizovanu simulaciju i optimizaciju fizičkih sistema u digitalnom okruženju. Kada se povežu s vještačkom inteligencijom, ovi modeli nude prediktivne i adaptivne funkcionalnosti kao što su optimizacija energetske potrošnje, simulacija klimatskih scenarija i pametno upravljanje ventilacijom i rasvjetom. Hadjidemetriou et al. (2023) prikazuju digitalnu dvostruku arhitekturu za pametne zgrade, gdje CNN i LSTM modeli analiziraju potrošnju energije, klimatizaciju i ventilaciju, čime se postiže smanjenje energetske potrošnje i poboljšava unutrašnji komfor za 10–20 %. Ovi sistemi su implementirani u naprednim urbanim okruženjima poput Tokija, Rotterdama i Rima, gdje se stvarni podaci u realnom vremenu podaci koriste za simulaciju punjenja električnih vozila, upravljanje pametnim grijanjem i optimizaciju resursa u realnom vremenu. Takva rješenja direktno poboljšavaju kvalitet života građana omogućujući im personalizovane, energetske i zdrave uslove stanovanja.

Edge i IoT primjena – Razvoj edge tehnologije i IoT-a dodatno pojačava ulogu vještačke inteligencije u upravljanju energijom. Prema Aghazadeh Ardebili i saradnicima (2024), savremene platforme primjenjuju modele vještačke inteligencije (ANN, CNN, RL) direktno na lokalnim IoT čvorovima – uređajima koji se nalaze u blizini korisnika – čime se omogućava brzo detektovanje neobičnih stanja u elektroenergetskim sistemima, predikcija kvarova i momentalna lokalna reakcija. Ovi sistemi funkcionišu bez oslanjanja na računarski oblak (cloud computing) za donošenje hitnih odluka, već se oblak koristi za dugoročne analize i optimizaciju. Jedan praktičan primjer je Verdigris Technologies, kompanija koja koristi RNN modele zajedno s edge senzorima za praćenje potrošnje i optimizaciju HVAC sistema u zgradama, što rezultira značajnim uštedama i boljim upravljanjem energijom. Građani koji koriste ovakve sisteme imaju koristi u vidu većeg komfora, manjih troškova i brže detekcije potencijalnih problema u sistemima grijanja, ventilacije i hlađenja.

Primjena vještačke inteligencije u upravljanju potrošnjom energije pametnih gradova omogućava precizno predviđanje potrošnje, optimizaciju distribucije i efikasno upravljanje obnovljivim izvorima. Sistemima koji koriste vještačku inteligenciju moguće je automatski balansirati potrošnju i proizvodnju, smanjiti opterećenja u mreži te omogućiti građanima

fleksibilnije korištenje energije u skladu s cijenama i dostupnošću. Ovakva rješenja direktno doprinose nižim troškovima, stabilnijem snabdijevanju i smanjenju emisije CO₂. Uprkos značajnim prednostima, izazovi uključuju visoke početne troškove implementacije, potrebu za naprednom infrastrukturom i sigurnosne rizike vezane za prikupljanje i obradu velikih količina podataka. Takođe, modeli vještačke inteligencije zahtijevaju kvalitetne i pouzdane podatke za učenje, što može biti otežano u sistemima sa nedovoljno razvijenim sensorima ili niskom digitalnom zrelošću korisnika.

3.5. Sigurnost

Sigurnost u pametnim gradovima predstavlja složen sistem koji uključuje prevenciju kriminala, zaštitu javnog reda i sigurnu infrastrukturu. Razvoj vještačke inteligencije omogućava znatno unapređenje ovih aspekata kroz automatizaciju, prediktivnu analitiku i integraciju podataka iz različitih izvora. Sistemi vještačke inteligencije koriste velike količine podataka prikupljenih putem senzora, kamera i drugih IoT uređaja kako bi u realnom vremenu otkrili prijetnje i brzo reagovali na potencijalne incidente.

Na primjer, sistemi video nadzora integrisani s algoritmima za prepoznavanje lica i objekata omogućuju identifikaciju sumnjivih osoba ili neobičnih aktivnosti u javnim prostorima. Takvi sistemi ne samo da pomažu u otkrivanju kriminalnih radnji u toku, već koristeći metode dubokog učenja mogu predvidjeti mjesta i vrijeme potencijalnih incidenata analizirajući istorijske obrasce ponašanja (Mukto et al., 2024). Ovakva prediktivna analitika omogućava sigurnosnim službama da anticipiraju prijetnje i pravovremeno rasporede resurse, što značajno smanjuje broj kriminalnih događaja i nesreća. Boukabous i Azizi (2023) proširili su ovo polje s radom na objektno-baziranoj detekciji oružja koristeći YOLOv5, što potvrđuje primjenu dubokog učenja za rano upozoravanje na potencijalno opasne situacije. Integrisani sistemi video nadzora opremljeni algoritmima za prepoznavanje lica i detekciju objekata poput oružja omogućuju ne samo identifikaciju sumnjivih osoba, nego i pravovremenu detekciju nasilnih radnji u javnim prostorima. Primjena naprednih modela dubokog učenja – kao što su YOLOv5 za prepoznavanje opasnih predmeta i MobileNetv2 za detekciju nasilja – omogućava ovim sistemima da djeluju u realnom vremenu. Uz to, metode za prepoznavanje lica, poput LBPH, postižu tačnost i do 97%. Analiza istorijskih obrazaca kriminala dodatno omogućuje predikciju kritičnih tačaka kriminalnih aktivnosti, pa sistemi mogu anticipirati vrijeme i mjesto budućih incidenata te automatski aktivirati sigurnosne protokole i obavijestiti nadležne službe (Boukabous & Azizi, 2023).

Za građane pametnih gradova, vještačka inteligencija donosi konkretne sigurnosne usluge. Mobilne aplikacije koje koriste vještačku inteligenciju omogućavaju stanovnicima jednostavno prijavljivanje incidenata, pri čemu sistem automatski identifikuje tačnu lokaciju i procjenjuje hitnost slučaja. Time se smanjuje vrijeme reakcije sigurnosnih i hitnih službi, što u mnogim slučajevima može spasiti živote (Zhang et al., 2017). Ove aplikacije često su integrisane s platformama za upravljanje incidentima, što osigurava koordinisanu i efikasnu reakciju.

Jedna od značajnijih primjena vještačke inteligencije u pametnim gradovima ogleda se u integraciji pametne rasvjete s naprednim sensorima i analitičkim algoritmima. Ulice i javni prostori mogu biti opremljeni svjetiljkama koje koriste tehnologije vještačke inteligencije za praćenje okruženja u realnom vremenu. Ovi sistemi, poput Heimdall infrastrukture, koriste senzore, kamere i algoritme za prepoznavanje anomalija kako bi automatski detektovali potencijalne sigurnosne rizike – npr. slabu frekvenciju prolaznika, sumnjivo ponašanje ili prisutnost u rizičnim zonama. Kao odgovor, sistem pojačava intenzitet osvjjetljenja na kritičnim lokacijama, čime se povećava vidljivost i smanjuje vjerovatnoća kriminalnih aktivnosti. Pored toga, pametna rasvjeta automatski obavještava nadležne službe, čime omogućava brzu reakciju. Ovakvi dinamički sistemi ne samo da doprinose stvarnom smanjenju rizika, već značajno utiču na subjektivni osjećaj sigurnosti među građanima, što predstavlja važan aspekt urbanog kvaliteta života (Atzori et al., 2021).

Primjena vještačke inteligencije za analizu urbanih podataka velikog obima omogućava detekciju obrazaca kriminalnog ponašanja u gradu – uključujući rutinske incidente i kritične tačke s povećanim rizikom od incidenata. Policijske i hitne službe koriste te uvide da planiraju patrolne rute, sprječavaju potencijalne prijetnje i efikasnije raspoređuju resurse. Kao rezultat, dolazi do brže reakcije i preciznije intervencije koja je usmjerena na najkritičnije zone, čime se doprinosi poboljšanju ukupne sigurnosti u urbanim sredinama (Butt et al., 2021; Cortes & Silva, 2021; Kaur & Saini, 2024).

Ipak, implementacija ovih sistema ne dolazi bez izazova. Glavni problem predstavlja zaštita privatnosti i etičnost korištenja podataka. Građani moraju imati povjerenje da njihovi lični podaci neće biti zloupotrebjeni ili neprimjereno prikupljeni. Stoga je nužno uspostaviti stroge regulative, transparentne procedure i mehanizme kontrole koji će garantovati da se tehnologije koriste u skladu s pravnim i etičkim standardima (Mark & Anya, 2019; Alashqar et al., 2025). Samo odgovornim pristupom u implementaciji vještačke inteligencije u

sigurnosnim sistemima pametni gradovi mogu osigurati ravnotežu između efikasnosti i zaštite privatnosti građana.

Vještačka inteligencija značajno unapređuje sigurnost u pametnim gradovima kroz automatizaciju nadzora, prediktivnu analitiku i brzu obradu podataka u realnom vremenu. Integrisani sistemi video nadzora s prepoznavanjem lica, detekcijom oružja i analizom ponašanja omogućavaju pravovremeno prepoznavanje prijetnji i efikasniju intervenciju sigurnosnih službi. Mobilne aplikacije dodatno povećavaju uključenost građana, dok pametna rasvjeta i analiza kritičnih tačaka kriminala doprinose proaktivnom pristupu zaštiti javnog reda. Najveći izazovi uključuju pitanja zaštite privatnosti i etičke upotrebe podataka. Prikupljanje i obrada ličnih informacija kroz sisteme vještačke inteligencije zahtijevaju jasno definisane regulative kako bi se spriječile zloupotrebe i narušavanje osnovnih prava građana. Takođe, visoki troškovi implementacije, potreba za tehnički naprednom infrastrukturom i potencijalna zavisnost od automatizacije mogu predstavljati prepreke za široku primjenu ovih sistema.

4. IZAZOVI I PREPREKE

4.1. Pitanja privatnosti i etike: izazovi vještačke inteligencije u pametnim gradovima

Razmatranje pitanja privatnosti i etike u kontekstu vještačke inteligencije u pametnim gradovima zahtijeva dublju analizu nekoliko glavnih tačaka.

Prvo, treba razmotriti prikupljanje podataka. Pametni gradovi koriste različite senzore i uređaje za prikupljanje podataka o urbanom okruženju i aktivnostima građana. Međutim, ovaj proces može izazvati zabrinutost u vezi s privatnošću, posebno ako se podaci prikupljaju bez jasne saglasnosti građana ili ako nije jasno definisano kako će se podaci koristiti i zaštititi od zloupotrebe. Stoga je važno razviti stroge politike privatnosti koje osiguravaju transparentnost u prikupljanju podataka i omogućavaju građanima da imaju kontrolu nad svojim ličnim informacijama (Chang, 2021; Ahmad et al., 2022a).

Drugo, pitanje transparentnosti i odgovornosti je značajno. Građani bi trebali biti obaviješteni o tome kako se njihovi podaci koriste i imati pravo na pristup tim informacijama. Takođe, gradski organi i kompanije koje upravljaju podacima trebaju biti transparentni u vezi sa svojim postupcima i praksama upravljanja podacima. Ovo uključuje pružanje informacija o tome kako se podaci obrađuju, ko ima pristup podacima i koje su mjere zaštite podataka na snazi (Ahmad et al., 2020; König, 2021).

Treće, postoji rizik od pristrasnosti i diskriminacije u algoritmima vještačke inteligencije. Algoritmi se baziraju na podacima koji mogu sadržati implicitne pristrasnosti, što može dovesti do nepravednih ili diskriminatornih rezultata. Da bi se to izbjeglo, potrebno je pažljivo trenirati i testirati algoritme kako bi se identifikovale i eliminisale pristrasnosti. Takođe, potrebno je osigurati raznolikost u timovima koji razvijaju i implementiraju algoritme kako bi se smanjio rizik od pristrasnosti (Ahmad et al., 2020; Ahmad et al., 2022a).

Konačno, važno je razmotriti socijalne i kulturne implikacije vještačke inteligencije u pametnim gradovima. Ove tehnologije mogu imati različite uticaje na različite zajednice i grupe građana, a neravnoteža u pristupu ili upotrebi može produbiti postojeće društvene nejednakosti. Stoga je važno sprovesti procjene uticaja na društvo i kulturu prilikom implementacije vještačke inteligencije, te osigurati da se tehnologija koristi na način koji promovise inkluziju i jednakost (Ismagilova et al., 2020).

Na kraju, rješavanje ovih pitanja zahtijeva multidisciplinarni pristup koji uključuje stručnjake iz različitih oblasti, uključujući tehnologiju, pravo, etiku, sociologiju i druge. Samo kroz sveobuhvatnu analizu i saradnju različitih interesnih grupa možemo osigurati da vještačka inteligencija u pametnim gradovima doprinosi unapređenju života svih građana na pravedan, transparentan i etički prihvatljiv način.

4.2. Pametni gradovi: balansiranje sigurnosti i privatnosti u povezanim sistemima

Razmatranje sigurnosnih izazova u povezanim sistemima pametnih gradova je od vitalnog značaja kako bi se osiguralo pouzdano funkcionisanje infrastrukture i zaštitila privatnost građana. Postoje brojni aspekti sigurnosti koji zahtijevaju pažnju, poput sajber sigurnosti, integriteta podataka, fizičke sigurnosti uređaja, privatnosti podataka i obuke osoblja.

Sajber sigurnost je značajan aspekt u funkcionisanju pametnih gradova, s obzirom na to da su različiti dijelovi infrastrukture povezani putem mreže, izloženi su raznim sajber prijetnjama. Pametni gradovi koriste raznovrsne tehnološke platforme, senzore i uređaje koji su međusobno povezani kako bi omogućili efikasno prikupljanje i razmjenu podataka. Međutim, ova povezanost takođe otvara vrata za različite sajber napade koji mogu ugroziti funkcionisanje infrastrukture i ugroziti privatnost građana (Ullah et al., 2020). Jedan od najčešćih sajber napada je napad gdje napadači pokušavaju neovlašćeno pristupiti mreži ili kontrolisati povezane uređaje radi izazivanja štete ili krađe podataka. Takođe, distribuirani napadi uskraćivanja usluge (DDoS napadi) mogu biti upućeni na pametne gradove s ciljem preopterećenja mrežnih resursa i onemogućavanja pristupa uslugama građanima. Osim toga, krađa podataka predstavlja ozbiljan rizik, posebno kada su u pitanju osjetljive informacije o građanima ili o radu infrastrukture (Alshahrani, 2023). Da bi se osiguralo da pametne infrastrukture budu otporne na sajber prijetnje, neophodno je implementirati jake sigurnosne protokole, enkripciju podataka i mehanizme zaštite. To uključuje redovno ažuriranje softvera i sistema, primjenu sigurnosnih zakrpa za otkrivanje i sprječavanje potencijalnih ranjivosti, te implementaciju sistema za detekciju i reakciju na sajber napade u realnom vremenu. Takođe, obuka osoblja o sigurnosnim procedurama i pravilna zaštita pristupa mreži su važni faktori u jačanju sajber sigurnosti pametnih gradova. Ove mjere zajedno doprinose stvaranju otpornih i sigurnih pametnih gradova koji mogu pouzdano funkcionisati i zaštititi interese svojih građana (Toh, 2020).

Integritet podataka je od suštinske važnosti za stabilno funkcionisanje pametnih gradova, jer manipulacija ili neovlašćeni pristup podacima može imati ozbiljne posljedice po

integritet sistema. Napadi koji mijenjaju ili uništavaju podatke mogu rezultirati greškama u donošenju odluka, poremećajima u funkcionisanju usluga ili čak ugroziti bezbjednost građana (Altulyan et al., 2020). Jedan od najčešćih scenarija je manipulacija podacima o saobraćaju ili javnom transportu, što može dovesti do pogrešnih informacija o rutama, vremenima dolaska ili o očekivanom stanju na putevima. Ovakve greške mogu prouzrokovati zastoje u saobraćaju, povećanje vremena putovanja ili čak opasnosti po bezbjednost putnika. Takođe, manipulacija podacima o kvalitetu vazduha ili vode može dovesti do pogrešnih procjena o nivou zagađenja, što može imati ozbiljne posljedice po zdravlje građana (Telo, 2023). Stoga je važno implementirati mehanizme za provjeru integriteta podataka i sisteme zaštite od zlonamjernih manipulacija. To uključuje korišćenje tehnologija kao što su digitalni potpisi, enkripcija podataka i blokčejn tehnologija kako bi se osigurala autentičnost i neizmjenjivost podataka. Takođe je važno imati efikasne sisteme za nadzor i detekciju nepravilnosti u podacima kako bi se brzo reagovalo u slučaju napada ili neovlašćenog pristupa. Ovi mehanizmi su značajni za očuvanje integriteta podataka i osiguranje pouzdanosti sistema pametnih gradova (Altulyan et al., 2020).

Fizička sigurnost uređaja je važan aspekt za održavanje integriteta i funkcionalnosti pametnih gradova. Senzori, uređaji i infrastruktura koja podržava pametne sisteme mogu biti izloženi različitim fizičkim napadima ili zloupotrebama. Neovlašćeni pristup ili oštećenje ovih uređaja može prouzrokovati ozbiljne probleme u funkcionisanju pametnih sistema, što može imati širok spektar negativnih posljedica po grad i njegove stanovnike. Da bi se osigurala fizička sigurnost infrastrukture pametnih gradova, neophodno je implementirati niz sigurnosnih mjera i tehnologija. To uključuje postavljanje video nadzora na najvažnijim tačkama u gradu kako bi se nadzirala aktivnost i identifikovali potencijalni rizici. Takođe je važno osigurati prostorije i objekte u kojima se nalaze senzori i drugi uređaji od neovlašćenog pristupa, koristeći napredne sisteme zaštite od provala i sigurnosne patrole koje će redovno patrolirati područja od interesa (Sharma & Arya, 2023). Pored toga, upotreba otpornih materijala za izgradnju infrastrukture, kao što su čvrsti i izdržljivi materijali, može dodatno otežati fizičke napade ili zloupotrebe. Održavanje i nadzor infrastrukture treba redovno da se sprovode kako bi se identifikovali potencijalni problemi i spriječili incidenti koji mogu ugroziti fizičku sigurnost uređaja (Berglund et al., 2020). Ukupno gledano, osiguranje fizičke sigurnosti uređaja i infrastrukture pametnih gradova bitno je za očuvanje njihovog integriteta i pouzdanosti, što omogućava da pametni sistemi pružaju korisne i pouzdane informacije za unapređenje kvaliteta života u urbanim sredinama.

Privatnost podataka je osnovna briga u pametnim gradovima, gdje se prikupljaju velike količine podataka o građanima i njihovim aktivnostima. Ovi podaci mogu obuhvatiti informacije o kretanju, navikama potrošnje, zdravstvenom stanju i drugim osjetljivim aspektima života pojedinaca. Zbog toga je važno osigurati da se podaci prikupljaju, skladište i koriste na način koji poštuje privatnost građana i u skladu je s relevantnim zakonskim propisima (Ismagilova et al., 2020). Jedan od pristupa zaštiti privatnosti podataka u pametnim gradovima je implementacija stroge regulative i zakonskih okvira koji regulišu prikupljanje, obradu i korišćenje podataka. Ovi propisi obično sadrže odredbe o pristanku korisnika za prikupljanje i obradu njihovih podataka, zahtjevima za transparentnost u vezi s tim kako se podaci koriste, kao i zahtjevima za sigurnosne mjere zaštite podataka (Chen, Ramanathan & Alazab, 2021). Pored toga, primjena tehnoloških mjera zaštite podataka igra ključnu ulogu u očuvanju privatnosti. To uključuje metode anonimizacije ili pseudonimizacije podataka, što omogućava korišćenje podataka u analizi i istraživanju bez otkrivanja identiteta pojedinaca. Takođe su važne i tehničke mjere sigurnosti, poput enkripcije podataka i stroge kontrole pristupa, kako bi se spriječio neovlašćen pristup ili zloupotreba podataka (Al Sharif & Pokharel, 2022). Ukupno gledano, osiguravanje privatnosti podataka u pametnim gradovima bitno je za očuvanje povjerenja građana i uspješnu implementaciju pametnih tehnologija. Kroz kombinaciju pravnih okvira, tehnoloških mjera i transparentnosti u vezi s korišćenjem podataka, moguće je osigurati da pametni gradovi budu sigurni uz poštovanje privatnosti građana.

Obuke osoblja predstavljaju obavezan faktor u održavanju sigurnosti povezanih sistema u pametnim gradovima. Osoblje koje upravlja i održava infrastrukturu pametnog grada treba da posjeduje odgovarajuće vještine i znanja kako bi adekvatno reagovalo na sigurnosne incidente i primijenilo najbolje prakse u zaštiti sistema od potencijalnih prijetnji (Dash & Sharma, 2022). Obuke treba da obuhvataju i različite aspekte sigurnosti, uključujući prepoznavanje potencijalnih prijetnji, upravljanje rizicima, korišćenje sigurnosnih alata i tehnika, kao i procedure reagovanja na incidente. Osoblje treba da bude upoznato s osnovnim konceptima i principima sigurnosti informacija, kao i s konkretnim sigurnosnim mjerama koje su specifične za pametne gradove. Osim toga, obuka osoblja treba da bude kontinuirana i prilagođena evoluciji tehnoloških prijetnji i promjenama u infrastrukturi pametnog grada. To uključuje redovno osvježavanje znanja i vještina osoblja, kao i praćenje najnovijih razvoja u oblasti sajber sigurnosti. Kroz efikasnu obuku osoblja, pametni gradovi mogu osigurati da timovi zaduženi za sigurnost budu dobro pripremljeni za zaštitu infrastrukture i podataka od

sajber prijetnji, čime se osigurava pouzdanost i integritet povezanih sistema u urbanim sredinama (Kuguoglu, van der Voort & Janssen, 2021).

Sumiranjem navedenog, rješavanje sigurnosnih izazova u povezanim sistemima pametnih gradova zahtijeva sveobuhvatan pristup koji obuhvata tehničke, organizacione i zakonske mjere. Implementacija snažnih sigurnosnih protokola, enkripcija podataka, redovno ažuriranje sistema i obuka osoblja su najvažniji koraci u održavanju sigurnosti. Takođe, važno je uspostaviti efikasne mehanizme nadzora i reagovanja na sigurnosne incidente, kao i pridržavati se propisa o privatnosti podataka. Samo kroz sveobuhvatan pristup i pažljivo planiranje može se osigurati da pametni gradovi budu otporni na potencijalne prijetnje i da zaštite privatnost i sigurnost svojih građana.

4.3. Infrastrukturni izazovi u implementaciji pametnih gradova

Finansijski i infrastrukturni izazovi predstavljaju kompleksan skup prepreka koje mogu usporiti ili otežati implementaciju pametnih tehnologija. Uključujući aspekte kao što su planiranje, nabavka, implementacija i održavanje sistema, ovi izazovi zahtijevaju sveobuhvatan pristup i strategiju kako bi se prevazišli.

Finansiranje projekata pametnih gradova predstavlja jedan od glavnih izazova u njihovoj implementaciji. Ovi projekti obuhvataju širok spektar tehnoloških inovacija, uključujući senzore, mreže i digitalnu infrastrukturu, što zahtijeva značajna finansijska sredstva. Često se suočavaju s ograničenim budžetima lokalnih vlasti ili nedostatkom spremnosti privatnog sektora za ulaganje u ovu vrstu projekata. Zbog toga gradovi često moraju tražiti različite izvore finansiranja kako bi pokrenuli svoje pametne inicijative. To može uključivati korišćenje javnih sredstava, privlačenje privatnih ulaganja, apliciranje za zajmove ili grantove iz nacionalnih ili međunarodnih fondova (Morozov & Bria, 2018; Yigitcanlar et al., 2020). Osim inicijalnih troškova implementacije, važno je takođe osigurati dugoročnu održivost projekata. To zahtijeva uzimanje u obzir troškova održavanja, nadogradnje i operativnih troškova tokom vremena. Bez adekvatnog planiranja i upravljanja finansijama, projekti pametnih gradova mogu se suočiti s izazovima u pogledu dugoročne održivosti, što može dovesti do prekida ili smanjenja efikasnosti pametne infrastrukture u kasnijim fazama implementacije. Stoga je važno pažljivo planiranje finansijskih aspekata projekata pametnih gradova kako bi se osiguralo njihovo uspješno izvršenje i dugoročna održivost (Tan & Taeihagh, 2020).

Implementacija pametnih tehnologija zahtijeva značajna ulaganja u infrastrukturne kapacitete kako bi se podržale nove tehnologije i inovacije. Jedan od osnovnih izazova je modernizacija i proširenje postojeće infrastrukture kako bi se omogućila efikasna integracija pametnih tehnologija. To podrazumijeva izgradnju ili nadogradnju mrežne infrastrukture za komunikaciju, kao što su brze internet veze ili razvoj 5G mreža koje mogu podržati visok protok podataka i omogućiti povezivanje velikog broja uređaja i senzora (Kalenyuk, Bohun & Djakona, 2023). Pored toga, neophodna je i infrastruktura za skladištenje, obradu i analizu podataka. To uključuje razvoj cloud infrastrukture i data centara koji mogu podržati velike količine podataka koje generišu senzori i pametni uređaji širom grada. Takođe, potrebni su distribuirani energetske resursi kako bi se podržala energetska efikasnost i održivost. Ovo može obuhvatiti implementaciju obnovljivih izvora energije, kao i pametne sisteme upravljanja energetskom potrošnjom koji optimizuju korišćenje energije u urbanom okruženju (Mahor et al., 2022). S obzirom na složenost i obim ovih infrastrukturnih projekata, neophodno je osigurati adekvatno planiranje, koordinaciju i upravljanje resursima kako bi se osigurala uspješna implementacija pametnih gradskih inicijativa. Nedostatak infrastrukturnih kapaciteta može ograničiti mogućnosti razvoja pametnih gradova i njihovu sposobnost da iskoriste potencijal novih tehnologija za poboljšanje kvaliteta života svojih građana. Stoga je važno uložiti u modernizaciju infrastrukture kako bi se podržao održiv razvoj urbanih sredina i omogućila transformacija u pametne gradove budućnosti (Cugurullo, 2020).

Interoperabilnost je značajan izazov u implementaciji pametnih gradova, jer se različiti tehnološki sistemi i uređaji često zasnivaju na različitim standardima i protokolima komunikacije. Nedostatak standardizacije može otežati integraciju i povezivanje ovih sistema, što može dovesti do fragmentacije i neefikasnosti u upravljanju gradskom infrastrukturom (Lai et al., 2020). Jedan od izazova je osigurati da različite tehnološke platforme i proizvodi mogu komunicirati i raditi zajedno bez problema. To zahtijeva uspostavljanje otvorenih standarda i protokola komunikacije koji omogućavaju interoperabilnost između različitih sistema. Takođe, potrebno je osigurati kompatibilnost između hardvera i softvera kako bi se omogućila integracija različitih komponenti pametnog grada (Jeong, Kim & Kim, 2020). Interoperabilnost je važna za efikasno upravljanje pametnim gradom, jer omogućava različitim sistemima i uređajima da razmjenjuju podatke i informacije, što rezultira boljim koordinisanjem i upravljanjem urbanim procesima. Stoga je važno ulagati u razvoj otvorenih standarda i tehnoloških rješenja koja podržavaju interoperabilnost kako bi se osigurala uspješna

implementacija pametnih gradskih inicijativa i postigao potencijal u poboljšanju kvaliteta života građana.

5. BUDUĆI SMJEROVI RAZVOJA

5.1. Budućnost pametnih gradova: transformacija kroz inovacije

Budući smjerovi razvoja pametnih gradova mogu obuhvatiti različite inovacije koje će dodatno unaprijediti funkcionalnost, održivost i kvalitet života u urbanim sredinama. U nastavku su navedene neke od potencijalnih inovacija koje bi mogle oblikovati budućnost pametnih gradova: digitalna transformacija javnih usluga, pametna poljoprivreda u urbanoj sredini, i pametne inovacije u saobraćaju.

Digitalna transformacija javnih usluga predstavlja važan smjer razvoja u kontekstu pametnih gradova, a dalja digitalizacija i automatizacija ovih usluga imaju za cilj značajno unaprijediti život građana (Ylipulli & Luusua, 2020). Proces digitalne transformacije obuhvata različite sektore javnih usluga, uključujući e-upravu, e-obrazovanje, e-zdravstvo i e-transport. Prvenstveno, digitalizacija e-uprave omogućava građanima jednostavan pristup različitim uslugama i informacijama putem interneta i mobilnih aplikacija. To uključuje procese poput podnošenja zahtjeva za dokumente, prijavu na konkurse, plaćanje poreza ili praćenje statusa različitih zahtjeva. Kroz digitalnu upravu, građani mogu uštedjeti vrijeme i resurse, a administracija može efikasnije upravljati procesima i smanjiti birokratske prepreke (Hardi & Gohwong, 2020). Nadalje, digitalizacija e-transporta pruža mogućnost boljeg planiranja putovanja, praćenja javnog prevoza, rezervacije prevoza putem aplikacija i upravljanja saobraćajem kako bi se smanjile gužve i saobraćajni problemi u gradovima. Pametni sistemi za upravljanje saobraćajem koriste podatke o saobraćaju i informacije o putovanjima kako bi optimizovali rutu, smanjili vrijeme vožnje i poboljšali iskustvo putnika (Chougrani & Battioui, 2020). Ukupno gledano, dalja digitalna transformacija javnih usluga uključujući e-upravu, e-obrazovanje, e-zdravstvo i e-transport, ima potencijal značajno poboljšati pristup uslugama, povećati efikasnost i smanjiti troškove administracije, što doprinosi stvaranju pametnih i održivih gradova.

Urbana poljoprivreda predstavlja jedan od aspekata pametnih gradova, a razvoj inovativnih poljoprivrednih tehnologija pruža mogućnost za proizvodnju hrane unutar urbanih sredina na održiv i efikasan način. Pametna poljoprivreda u urbanim područjima obuhvata različite pristupe, uključujući vertikalnu poljoprivredu, hidroponski uzgoj i upotrebu pametnih

senzora za praćenje i upravljanje usjevima (Skar et al., 2020). Vertikalna poljoprivreda je tehnika koja omogućava uzgoj biljaka u vertikalnim slojevima, često u zatvorenim ili kontrolisanim okruženjima poput staklenika ili urbanih farmi. Ova metoda koristi manje prostora u poređenju s tradicionalnim horizontalnim poljoprivrednim sistemima i omogućava kontinuiranu proizvodnju usjeva tokom cijele godine, nezavisno od klimatskih uslova. Vertikalna poljoprivreda takođe smanjuje potrebu za transportom hrane iz ruralnih područja u gradove, što doprinosi smanjenju emisija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. Hidroponski uzgoj je još jedna napredna tehnika koja se često koristi u urbanoj poljoprivredi. Ovaj metod uzgoja biljaka ne koristi tlo, već koristi vodu obogaćenu hranjivim materijama kako bi se biljkama pružili potrebni nutrijenti. Biljke se često uzgajaju u kontrolisanim uslovima unutar staklenika ili zatvorenih prostora, što omogućava bolju kontrolu nad uzgojnim uslovima i povećava efikasnost korišćenja resursa poput vode i prostora (Saad, Hamdan & Sarker, 2021). Pametni senzori igraju bitnu ulogu u praćenju i upravljanju usjevima u urbanoj poljoprivredi. Ovi senzori mogu mjeriti različite parametre kao što su temperatura, vlažnost vazduha, pH vrijednost tla, nivo hranjivih materija i osvjetljenje, te pružiti precizne podatke o stanju usjeva. Na osnovu tih podataka, poljoprivrednici mogu prilagoditi uslove uzgoja kako bi maksimizovali prinos i kvalitet usjeva, smanjili potrošnju resursa poput vode i energije te smanjili rizik od bolesti ili štetočina (Singh et al., 2022a). Ukupno gledano, pametna poljoprivreda u urbanoj sredini predstavlja inovativan pristup proizvodnji hrane koji omogućava gradovima da postanu samoodrživi i smanje svoju zavisnost od uvoza hrane iz drugih regija. Ove tehnologije doprinose stvaranju održivih i resursno efikasnih urbanih sredina, smanjujući negativan uticaj poljoprivrede na životnu sredinu i pružajući lokalno uzgojene, svježije namirnice stanovnicima gradova.

Dalji razvoj pametnih inovacija u saobraćaju obuhvata širok spektar tehnoloških rješenja koja će transformisati način na koji se ljudi kreću u urbanim sredinama. To uključuje razvoj autonomnih vozila, unapređenje pametnih saobraćajnih sistema, proširenje koncepta dijeljenja vožnje te integraciju različitih vrsta prevoza poput javnog prevoza, bicikala i pješačkih staza (Guo, Tang & Guo, 2020). Autonomna vozila predstavljaju tehnološku inovaciju koja obećava revoluciju u transportu. Korišćenjem naprednih senzora, kamera, radara i vještačke inteligencije, autonomna vozila mogu samostalno navigirati kroz gradski saobraćaj bez potrebe za ljudskim vozačem. Ovo će rezultirati povećanjem sigurnosti u saobraćaju, smanjenjem gužvi i efikasnijim korišćenjem infrastrukture (Barron, 2021). Pametni saobraćajni sistemi integrišu napredne tehnologije kako bi optimizovali upravljanje

saobraćajem u gradu. To uključuje sisteme za praćenje saobraćaja u stvarnom vremenu, pametne semafore koji se prilagođavaju saobraćajnim uslovima, te upravljanje saobraćajnim tokovima putem podataka i analitike. Ovi sistemi omogućavaju bolji protok saobraćaja, smanjenje zastoja i optimizaciju korišćenja postojećih saobraćajnih ruta (Lee & Chiu, 2020). Integracija različitih vrsta prevoza, uključujući javni prevoz, bicikle i pješačke staze, omogućava građanima fleksibilnost u izboru načina prevoza zavisno od potreba i preferencija. Kroz povezivanje različitih modaliteta prevoza putem pametnih aplikacija i platformi, gradovi mogu pružiti integrisano iskustvo putovanja koje je brže, praktičnije i održivije (Nikitas et al., 2020).

5.2. Unapređenje pametnih gradova kroz integraciju vještačke inteligencije i saradnju s drugim tehnologijama

Moguće integracije i saradnje vještačke inteligencije s drugim tehnologijama predstavljaju bitan element u razvoju pametnih gradova i optimizaciji njihovih urbanih procesa. U nastavku je prikazano nekoliko mogućih integracija i saradnji s drugim tehnologijama.

Integracija vještačke inteligencije s IoT tehnologijom predstavlja ključ za razvoj pametnih gradova koji efikasno upravljaju resursima i poboljšavaju usluge građanima. IoT uređaji prikupljaju velike količine podataka o urbanim aspektima poput saobraćaja, kvaliteta vazduha, energije i sigurnosti, dok vještačka inteligencija omogućava njihovu naprednu analizu, identifikaciju obrazaca i predviđanje potreba (Almalki et al., 2023). Korišćenjem algoritama mašinskog i dubokog učenja, vještačka inteligencija interpretira složene podatke, prepoznaje gužve, predviđa održavanje infrastrukture i otkriva nepravilnosti poput curenja vode ili kvarova (Atitallah et al., 2020). Ova sinergija omogućava donošenje odluka zasnovanih na podacima, čime gradovi postaju efikasniji, održiviji i pogodniji za život.

Integracija vještačke inteligencije s blockchain tehnologijom donosi brojne prednosti za pametne gradove, omogućavajući sigurnu i transparentnu razmjenu podataka među urbanim entitetima. Kao decentralizovana i nepromjenljiva digitalna evidencija, blockchain osigurava integritet i pouzdanost podataka (Singh et al., 2022b), što je ključno za upravljanje identitetima, zaštitu ličnih informacija i praćenje resursa poput energije i vode. Vještačka inteligencija omogućava efikasnu analizu podataka pohranjenih na blockchainu, identifikaciju obrazaca i automatizaciju donošenja odluka (Bhushan et al., 2020). Na primjer, može analizirati potrošnju resursa i omogućiti dinamičko upravljanje, čime se poboljšava održivost i efikasnost gradskih sistema. Ova tehnologija omogućava efikasniju alokaciju resursa, smanjenje gubitaka i

optimizaciju radnih procesa, što rezultira povećanom održivošću i efikasnošću pametnih gradova.

Integracija vještačke inteligencije s robotikom otvara nove mogućnosti za pametne gradove, omogućavajući razvoj autonomnih sistema za razne urbane zadatke – od čišćenja i održavanja do dostave (Golubchikov & Thornbush, 2020). Autonomni roboti povećavaju efikasnost gradskih operacija jer mogu raditi kontinuirano, bez pauza. Na primjer, roboti za čišćenje mogu djelovati noću, dok dostavni roboti unapređuju logistiku i smanjuju emisije. Vještačka inteligencija im omogućava učenje iz okruženja i prilagođavanje uslovima, poput izbjegavanja prepreka pomoću senzora i kamera (Golubchikov & Thornbush, 2020; Suvarna et al., 2020).

Integracija vještačke inteligencije s geografskim informacionim sistemima (GIS) predstavlja snažan alat za analizu i razumijevanje urbanih prostora. GIS omogućava prikupljanje i vizuelizaciju prostornih podataka, dok vještačka inteligencija automatizuje njihovu analizu, otkrivajući uzorke, trendove i probleme (Mortaheb & Jankowski, 2023). Ova kombinacija pomaže urbanistima i donosiocima odluka u planiranju razvoja gradova, poput optimizacije saobraćajnih ruta ili određivanja lokacija za novu infrastrukturu (Li, Batty & Goodchild, 2020). Time se doprinosi održivijem i efikasnijem razvoju urbanih sredina.

Integracija vještačke inteligencije s energetske tehnologijama predstavlja glavni korak ka pametnom upravljanju energijom u urbanim sredinama. Vještačka inteligencija omogućava preciznu analizu i upravljanje potrošnjom energije na svim nivoima – od zgrada do cijelog grada – koristeći podatke o klimatskim uslovima, navikama korisnika i energetske resursima (Šerban & Lytras, 2020). Na osnovu ovih analiza, vještačka inteligencija može predvidjeti potrošnju, optimizovati distribuciju energije, integrisati obnovljive izvore i prilagoditi potrošnju u realnom vremenu. Primjeri uključuju pametnu rasvjetu koja reaguje na uslove okoline, kao i prediktivno održavanje sistema. Ova automatizacija smanjuje troškove, povećava pouzdanost i doprinosi ekološkoj održivosti gradova (Chui et al., 2018).

Integracija vještačke inteligencije s naprednim sensorima u urbanim sredinama otvara brojne mogućnosti za razvoj pametnih i održivih gradova. Ova tehnologija omogućava prikupljanje i analizu podataka o kvalitetu vazduha, buci, saobraćaju i stanju infrastrukture, čime se unapređuje upravljanje gradskim resursima i poboljšava kvalitet života građana (Channi & Kumar, 2021; Estrada et al., 2019). Pametni senzori pomažu u praćenju životne sredine, detekciji zagađenja i planiranju javnih usluga u skladu s potrebama stanovništva.

Takođe, omogućavaju optimizaciju javnog prevoza kroz prilagođavanje rasporeda na osnovu stvarnih potreba (Nikitas et al., 2020). Osim toga, senzori uz podršku vještačke inteligencije omogućavaju nadzor stanja infrastrukture, omogućavajući pravovremeno otkrivanje i rješavanje problema, čime se povećava sigurnost i efikasnost (Ahmed et al., 2021). Na ovaj način, vještačka inteligencija i senzorska tehnologija omogućavaju pametno upravljanje gradovima, brže donošenje odluka i stvaranje sigurnijeg, održivijeg urbanog okruženja.

Integracija vještačke inteligencije s biometrijskim sistemima predstavlja snažan alat za unapređenje sigurnosti i personalizaciju usluga u urbanim sredinama. Biometrijska tehnologija omogućava pouzdano prepoznavanje lica, otisaka prstiju i drugih karakteristika, čime se poboljšava sigurnost javnih prostora kroz efikasnu kontrolu pristupa i identifikaciju prijetnji (Ross, Banerjee & Chowdhury, 2020). Vještačka inteligencija dodatno unapređuje ove sisteme omogućavajući bržu i precizniju obradu podataka. U javnom prevozu, biometrija olakšava ulazak i izlazak putnika bez fizičkih karata (Ma et al., 2020b), dok se u komercijalnom sektoru koristi za personalizaciju ponuda u trgovinama i restoranima, povećavajući zadovoljstvo korisnika (Thakur et al., 2021; Rajasekar et al., 2022). Ova integracija donosi veću sigurnost i poboljšano korisničko iskustvo u pametnim gradovima.

Integracije i saradnje između različitih tehnologija u pametnim gradovima predstavljaju važnu komponentu za stvaranje kompleksnih, ali visoko efikasnih ekosistema. Kroz ove integracije, tehnologije se međusobno nadopunjuju i optimizuju kako bi se postigla najbolja moguća iskustva za građane i poboljšala efikasnost u upravljanju urbanim resursima.

6. PRIMJER INTEGRACIJE VJEŠTAČKE INTELIGENCIJE U JAVNU RASVJETU – PAMETNO JAVNO OSVJETLJENJE

6.1. Prednosti i nedostaci pametnog javnog osvjetljenja

Pametno javno osvjetljenje, takođe poznato i kao inteligentno osvjetljenje, predstavlja sistem koji koristi napredne tehnologije i senzore za efikasno i kontrolisano osvjetljenje javnih prostora (Smys, Basar & Wang, 2020). Ovaj tip osvjetljenja ima brojne prednosti i donosi niz inovacija u oblasti upravljanja javnim osvjetljenjem. U nastavku je navedeno nekoliko glavnih prednosti pametnog javnog osvjetljenja (Sánchez Sutil & Cano-Ortega, 2020; Yang et al., 2020; Zhang & He, 2020; Kyba et al., 2021):

- Energetska efikasnost: Pametno osvjetljenje koristi senzore, kao što su senzori prisustva i ambijentalnog osvjetljenja, koji omogućavaju uključivanje i isključivanje svjetala samo kada je potrebno. Ovo doprinosi značajnoj energetskej efikasnosti, što rezultira smanjenjem potrošnje električne energije i troškova;
- Adaptivnost i fleksibilnost: Pametno osvjetljenje može biti programirano i kontrolisano na osnovu različitih faktora, kao što su prisustvo prolaznika, gustina saobraćaja ili vremenski uslovi. Ovo omogućava sistemu da adaptira osvjetljenje u realnom vremenu, što doprinosi optimalnom osvjetljenju i uštedi energije;
- Daljinsko upravljanje i monitoring: Pametno osvjetljenje obično ima mogućnost da se njime daljinski upravlja i monitoriše. Putem centralnog sistema ili aplikacije, operatori mogu kontrolisati rad osvjetljenja, pratiti status i dobijati informacije o problemima ili neispravnostima;
- Poboljšana bezbjednost i bezbjednosni aspekti: Pametno osvjetljenje može doprinijeti poboljšanju bezbjednosti u javnim prostorima. Osvjetljenje se može aktivirati kada senzori detektuju pokret, što omogućava bolju vidljivost i sprječavanje kriminalnih aktivnosti;
- Integracija sa drugim sistemima: Pametno osvjetljenje može biti integrisano sa drugim sistemima, kao što su sistemi video nadzora, sistemi upravljanja saobraćajem ili sistemi upravljanja gradom. Ova integracija omogućava sinhronizovan i koordinisan rad različitih sistema u okviru urbanih prostora.

Iako pametno javno osvjetljenje ima mnoge prednosti, postoje i neki nedostaci i izazovi koji mogu biti važni prilikom njegove implementacije. U nastavku su navedeni neki od njih

(Belli et al., 2020; Gagliardi et al., 2020; Scorpio et al., 2020; Yang et al., 2020; Dizon & Pranggono, 2022):

- Početni troškovi: Instalacija pametnog javnog osvjetljenja može biti skupa, uključujući troškove za nabavku i instalaciju senzora, kontrolnih sistema i druge opreme. Ovo može predstavljati prepreku za mnoge urbane oblasti sa ograničenim budžetom;
- Tehnički izazovi: Pametno javno osvjetljenje zahtijeva stalno održavanje komponenti kao što su senzori, kontrolni sistemi i komunikacione mreže. Održavanje i ažuriranje ovih komponenti može predstavljati izazov, posebno u velikim i kompleksnim sistemima;
- Kompatibilnost i standardi: Izazov može biti usaglašavanje i kompatibilnost različitih komponenti i sistema u različitim oblastima. Nedostatak standarda i unificiranih protokola može usložniti integraciju i interoperabilnost različitih rješenja;
- Potreba za obukom i usavršavanjem: Pametno javno osvjetljenje zahtijeva obučene kadrove za upravljanje i održavanje sistema. Obuka i stalno usavršavanje osoblja su bitni kako bi se ispravno upravljalo i ispravljali potencijalni problemi;
- Zamjena starog osvjetljenja: U nekim slučajevima, implementacija pametnog javnog osvjetljenja može zahtijevati zamjenu ili nadogradnju postojećih sistema osvjetljenja. Ovo može predstavljati izazov u pogledu finansijskih sredstava i vremena potrebnog za promjenu.

Sumiranjem navedenog, pametno javno osvjetljenje ima svoje prednosti, ali takođe ima i nedostatke i izazove. Prije primjene pametnog osvjetljenja, potrebno je pažljivo procijeniti sve aspekte i obezbijediti da se odgovarajuće mjere zaštite i upravljanja primijene, uključujući sigurnost podataka, održavanje i obuku osoblja.

6.2. Uloga pametnog javnog osvjetljenja u smanjenju CO₂ i održivom razvoju

Pametno javno osvjetljenje ima važnu ulogu u procesu dekarbonizacije urbanih sredina i ostvarivanju ciljeva održivog razvoja. Osnovnu komponentu ovakvih sistema čine energetske efikasne LED svjetiljke koje troše znatno manje električne energije u poređenju sa tradicionalnim izvorima svjetlosti, što direktno smanjuje potrebu za proizvodnjom energije iz fosilnih goriva, a time i emisiju CO₂ (Müllner & Riener, 2011). Osim efikasnijih izvora svjetlosti, značajan doprinos smanjenju CO₂ dolazi i kroz pametne algoritme koji kontrolišu

intenzitet i trajanje rada svjetiljki na osnovu stvarnih potreba, kao što su prisustvo ljudi ili nivo ambijentalnog osvjetljenja.

Ovi sistemi omogućavaju precizno upravljanje osvjetljenjem putem centralizovanih platformi, često u realnom vremenu, što ne samo da optimizuje potrošnju energije već omogućava i pravovremeno detektovanje kvarova, čime se smanjuje potreba za dodatnim tehničkim intervencijama i nepotrebnim vožnjama – dodatnim izvorima emisije CO₂. U naprednijim implementacijama, pametno osvjetljenje može biti integrisano s obnovljivim izvorima energije, poput solarnih panela, čime se dodatno povećava stepen održivosti sistema. Smanjenje emisije CO₂ posredstvom pametnog javnog osvjetljenja ima šire systemske efekte. Prije svega, doprinosi ublažavanju klimatskih promjena, jer je ugljen-dioksid glavni gas sa efektom staklene bašte odgovoran za globalno zagrijavanje i ekstremne vremenske pojave. Takođe, smanjena emisija poboljšava kvalitet vazduha, što ima direktan uticaj na zdravlje ljudi, naročito u gusto naseljenim urbanim područjima. Pored toga, prelazak na energetske efikasne i obnovljive izvore doprinosi razvoju zelene ekonomije, stimulišući inovacije, lokalnu proizvodnju opreme i otvaranje novih radnih mjesta (Colding et al., 2020; Uçar, Akay & Bilici, 2020; Chu, Cheng & Yu, 2021; Obringer & Nateghi, 2021; Guo, Wang & Dong, 2022):

U kontekstu održivog urbanog razvoja, pametno javno osvjetljenje omogućava optimizaciju urbane infrastrukture, čime se smanjuje potreba za prekomjernom izgradnjom i trošenjem resursa. Na primjer, precizno planiranje osvjetljenja može smanjiti broj potrebnih svjetiljki, racionalizovati njihovu distribuciju i time dodatno redukovati potrošnju energije. Osim toga, smanjenje svjetlosnog zagađenja, koje je čest problem u savremenim gradovima, predstavlja dodatnu ekološku prednost, jer očuvanje prirodnog noćnog ambijenta ima značaj za biljni i životinjski svijet, ali i za zdravlje ljudi (Skandali, 2018; Rodrigo-Comino et al., 2023).

Sve navedeno potvrđuje da pametno javno osvjetljenje predstavlja mnogo više od tehničke inovacije – ono je strateški alat za ublažavanje klimatskih promjena, unapređenje javnog zdravlja i podsticanje održive urbanizacije. Njegova implementacija predstavlja važan korak ka stvaranju zelenijih, otpornijih i ekološki prihvatljivijih gradova.

6.3. Prototip sistema inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom

6.3.1. Arhitektura – glavne komponente sistema

Analizirani sistem inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom oslanja se na sofisticiranu i modularnu arhitekturu, koja omogućava dinamičko prilagođavanje uslovima okruženja, kao i optimizaciju potrošnje energije. Srž ovog sistema čini centralna kontrolna jedinica, koja funkcioniše kao mozak cjelokupne infrastrukture. Ova jedinica je odgovorna za obradu podataka, koordinaciju i nadzor nad mrežom pametnih rasvjetnih tijela raspoređenih širom grada. Glavne komponente sistema su (De Paz et al., 2016):

- Pametna rasvjetna tijela: Svako rasvjetno tijelo unutar ovog sistema opremljeno je sensorima za mjerenje intenziteta svjetlosti, detektorima pokreta i komunikacionim modulima. Ovi senzori omogućavaju svakoj svjetiljci da se samostalno prilagodi trenutnim uslovima – na primjer, da pojača svjetlost kada detektuje prolaznike ili smanji osvjetljenje u kasnim noćnim satima kada nema aktivnosti. Tako se postiže balans između energetske efikasnosti i sigurnosti;
- Senzorska mreža: Pored senzora integrisanih u rasvjetna tijela, sistem uključuje dodatne senzore za mjerenje vremenskih uslova, temperature i vlažnosti, kao i senzore za monitoring saobraćaja. Ova mreža senzora funkcioniše kao "oči" sistema, prikupljajući podatke u realnom vremenu i šaljući ih centralnoj kontrolnoj jedinici na analizu;
- Centralna kontrolna jedinica: Kao glavno čvorište sistema, ova jedinica koristi napredne algoritme za obradu podataka, što uključuje analizu obrazaca potrošnje, predviđanje opterećenja, i prilagođavanje rada sistema u skladu sa stvarnim potrebama. Kontrolna jedinica, putem dvosmjerne bežične komunikacije, upravlja svim komponentama mreže;
- Bežična komunikaciona infrastruktura: Komunikacija između svih dijelova sistema ostvaruje se putem bežičnih protokola, koji omogućavaju efikasnu i brzu razmjenu podataka. Ova infrastruktura je važna za pružanje fleksibilnosti i skalabilnosti sistema, omogućavajući proširenje mreže bez potrebe za složenim infrastrukturnim intervencijama.

Slika 1 prikazuje osnovnu arhitekturu sistema inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom. Na ovoj slici se vidi kako su različite komponente međusobno povezane. Centralna kontrolna jedinica se nalazi u središtu arhitekture, gdje prima informacije od senzorskih

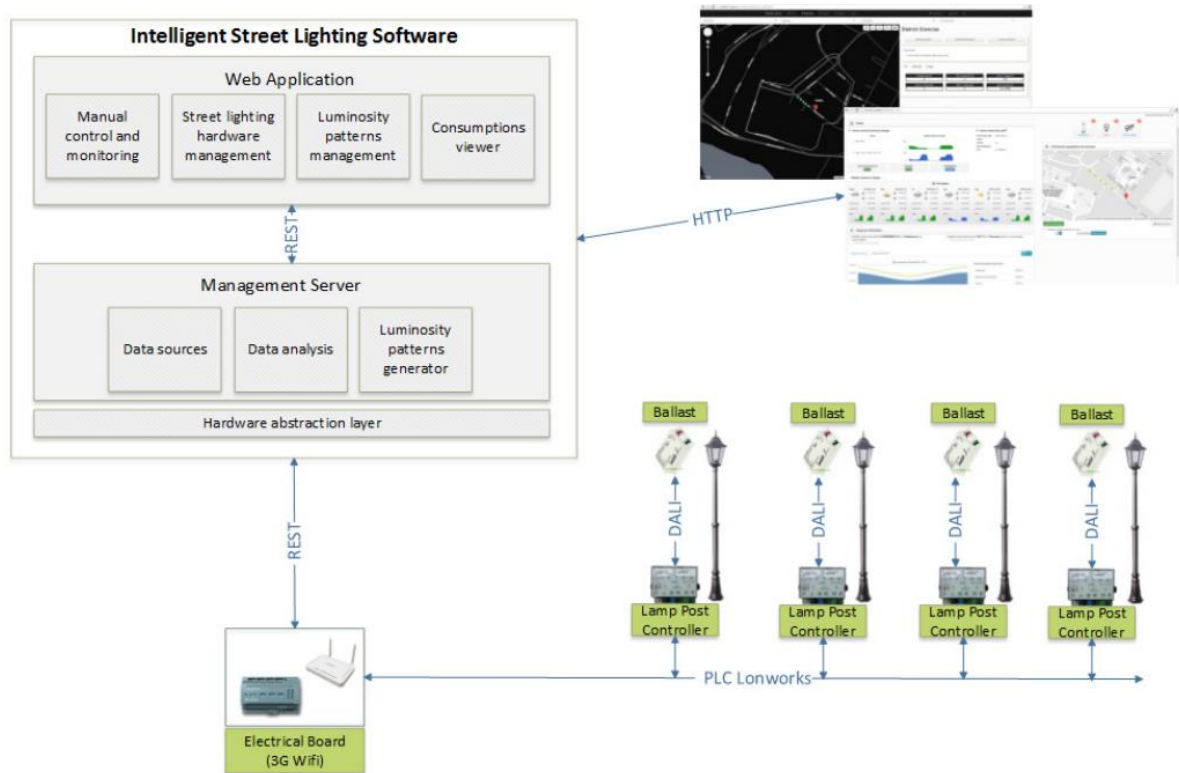
jedinica i upravlja pametnim rasvjetnim tijelima. Prikazani dijagram takođe ilustruje komunikacione veze između pametnih svjetiljki, koje su organizovane u klastere radi efikasnijeg upravljanja i održavanja.

Pametna rasvjetna tijela na slici 1 predstavljaju osnovne jedinice mreže, a svako tijelo je povezano sa centralnom jedinicom putem mreže. Senzori su raspoređeni tako da prate sve najvažnije parametre kao što su intenzitet svjetla, saobraćajne aktivnosti, i vremenske prilike, što omogućava sistemu da reaguje na promjene u realnom vremenu. Ovaj distribuirani pristup pomaže u smanjenju opterećenja na centralni sistem, obezbjeđujući bržu reakciju na promjene u okolini.

Glavne prednosti ove arhitekture uključuju:

- Energetska efikasnost: Zahvaljujući senzorskoj mreži, sistem je sposoban da automatski smanjuje potrošnju energije kada to uslovi dozvoljavaju, čime se postiže značajna ušteda;
- Fleksibilnost: Modularni dizajn omogućava lako proširenje sistema u budućnosti, bez potrebe za drastičnim promjenama u postojećoj infrastrukturi;
- Brza reakcija: Bežična komunikacija i decentralizovana kontrola omogućavaju brzo prilagođavanje promjenama, čineći sistem otpornim na nepredvidive uslove i promjene u urbanim sredinama.

Ova arhitektura predstavlja savremeni pristup upravljanju javnom rasvjetom, omogućavajući gradovima da efikasno koriste svoje resurse i pruže bolji kvalitet života građanima.



Slika 1. Glavne komponente sistema (De Paz et al., 2016)

6.3.2. Proces rada

Proces rada sistema inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom zasniva se na složenom skupu operacija koje koordinišu rad senzora, centralne kontrolne jedinice i pametnih rasvjetnih tijela. Osnovna ideja ovog sistema je postizanje optimalne energetske efikasnosti uz održavanje sigurnosnih standarda i funkcionalnosti. Sistem je sposoban da dinamično reaguje na promjenljive uslove u okruženju, što omogućava uštedu energije i istovremeno osigurava da osvjetljenje bude adekvatno prilagođeno potrebama građana (De Paz et al., 2016). Proces se sastoji od sljedećih koraka:

- Prikupljanje podataka: Sistem koristi široku mrežu senzora koji prikupljaju informacije u realnom vremenu. Ovi senzori su strateški raspoređeni na ključnim tačkama u urbanom prostoru kako bi pokrili sve relevantne aspekte okruženja. Podaci koje prikupljaju obuhvataju nivo prirodnog osvjetljenja, vremenske uslove, saobraćajnu dinamiku, kao i prisustvo pješaka. Prikupljanje ovih podataka omogućava sistemu da ima kompletan pregled trenutnog stanja u stvarnom vremenu, što je bitno za pravovremene odluke o prilagođavanju rasvjete.
- Prenos podataka: Prikupljeni podaci se putem bežične mreže prenose ka centralnoj kontrolnoj jedinici. Bežična infrastruktura omogućava efikasan protok informacija

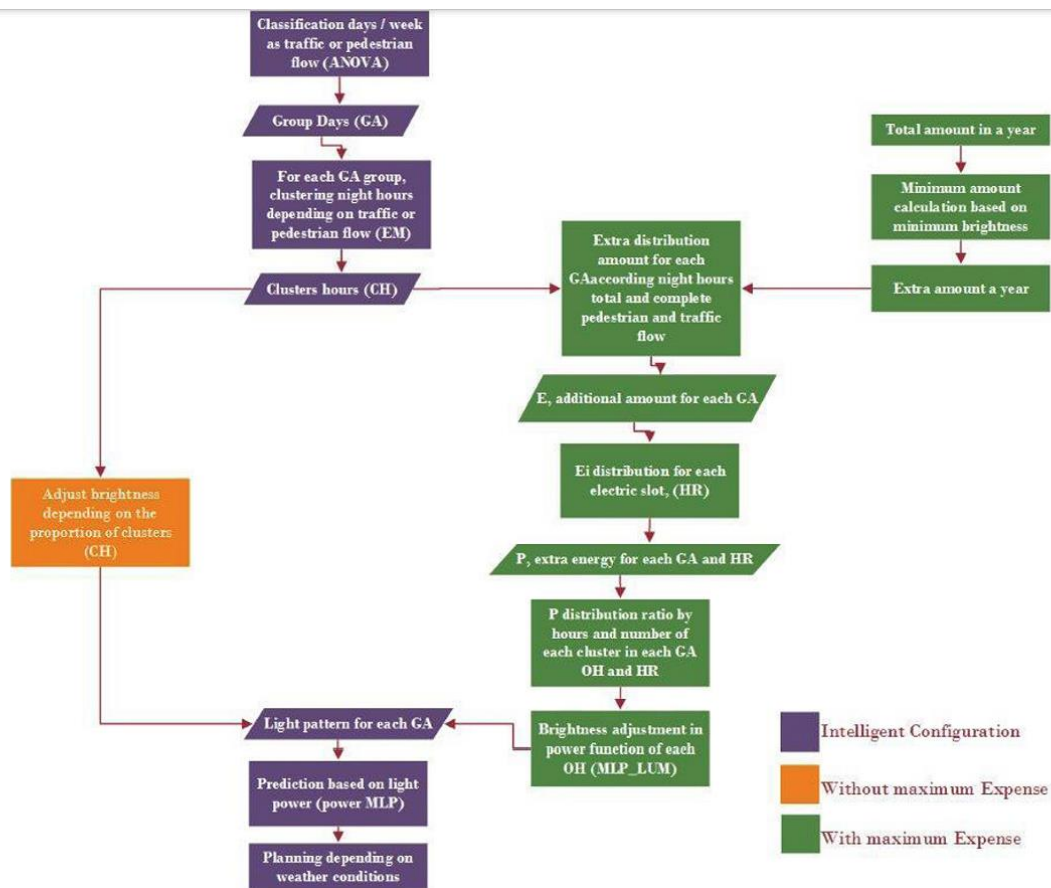
između senzora i kontrolne jedinice, eliminišući potrebu za složenim kablovskim sistemima i osiguravajući fleksibilnost instalacije. Dvosmjerna komunikacija između senzora i kontrolne jedinice omogućava ne samo prenos podataka ka centralnom sistemu, već i prijem povratnih instrukcija za prilagođavanje osvjetljenja.

- Analiza podataka: Kada podaci stignu u centralnu jedinicu, sistem koristi napredne algoritme za analizu. EM algoritam (Očekivanje-Maksimizacija) je posebno koristan jer omogućava procjenu skrivenih obrazaca u podacima. Ovaj algoritam funkcioniše kroz iterativni proces, gdje se početne procjene parametara postepeno poboljšavaju dok se ne postigne optimalno rješenje. EM algoritam je ključan u situacijama gdje podaci nisu direktno mjerljivi, jer omogućava tačniju identifikaciju obrazaca koji utiču na potrošnju energije ili nivo osvjetljenja.
- Klasterizacija i grupisanje: Nakon što EM algoritam završi svoju analizu, podaci se grupišu u klustere na osnovu sličnih karakteristika. Na primjer, dani sa sličnim vremenskim uslovima ili obrascima saobraćaja mogu biti grupisani u jedan klaster. Ova klasterizacija omogućava sistemu da predviđa potrebne promjene u osvjetljenju za cijele grupe dana, unaprijed optimizujući postavke umjesto da se oslanja na reaktivna prilagođavanja u realnom vremenu. Kroz ovaj proces, sistem može značajno smanjiti potrošnju energije, posebno tokom perioda kada je intenzitet saobraćaja nizak ili kada je prisutnost pješaka minimalna.
- Donošenje odluka: Nakon analize podataka i klasterizacije, centralna jedinica donosi odluke o optimalnim postavkama osvjetljenja. Odluke se zasnivaju na rezultatima EM algoritma i klasterizacije, što omogućava da osvjetljenje bude precizno prilagođeno potrebama za svaku grupu dana. Na primjer, za dane kada su vremenski uslovi povoljni i prirodno osvjetljenje dovoljno, sistem automatski smanjuje nivo vještačkog osvjetljenja kako bi se smanjila potrošnja energije, dok se u lošijim vremenskim uslovima osvjetljenje pojačava.
- Distribucija instrukcija: Nakon donošenja odluka, centralna jedinica šalje instrukcije pametnim rasvjetnim tijelima. Ove instrukcije su prilagođene specifičnim uslovima na terenu, što omogućava da osvjetljenje bude efikasno upravljano u realnom vremenu. Pametna rasvjetna tijela automatski prilagođavaju svoje performanse u skladu sa instrukcijama koje dobijaju, čime se obezbjeđuje optimalan nivo osvjetljenja u svakom trenutku.
- Monitoring i izvještavanje: Posljednja faza procesa je kontinuirani monitoring sistema i generisanje izvještaja o performansama. Centralna kontrolna jedinica prati rad svih

komponenti, analizirajući potrošnju energije i performanse sistema. Generisani izvještaji omogućavaju operaterima da procijene efikasnost rada sistema, identifikuju eventualne anomalije ili probleme, i preduzmu potrebne korektivne mjere. Ovi izvještaji takode pružaju uvid u dugoročne uštede energije koje sistem postiže kroz optimizaciju.

Slika 2 prikazuje cjelokupni proces rada sistema, uključujući interakciju između senzora, centralne kontrolne jedinice, i pametnih rasvjetnih tijela. Na dijagramu se vidi kako senzori prikupljaju podatke i šalju ih centralnoj jedinici, gdje se vrši analiza korišćenjem ANOVA metode i algoritama za klasterizaciju, poput EM algoritma. Nakon analize, donose se odluke koje se zatim distribuiraju pametnim rasvjetnim tijelima, omogućavajući prilagođavanje osvjetljenja u realnom vremenu. Slika 2 ističe sve osnovne faze procesa, od prikupljanja podataka do konačne distribucije instrukcija, čime se osigurava efikasan i inteligentan rad sistema.

Ovaj sveobuhvatan pristup omogućava inteligentno prilagođavanje rasvjete u realnom vremenu, obezbjeđujući optimalnu potrošnju energije, dok istovremeno osigurava da se održava potrebni nivo sigurnosti i komfora za građane. Sistem je fleksibilan i skalabilan, omogućavajući lako prilagođavanje novim uslovima ili proširenjima u budućnosti.



Slika 2. Procedura radnog toka praćena za osvjetljenje (De Paz et al., 2016)

6.3.3. Klasterizacija dana i grupisanje

Klasterizacija dana je znaćajan postupak u optimizaciji distribucije svjetlosti jer omogućava grupisanje dana na osnovu slićnih obrazaca osvjetljenja i vremenskih uslova. Ova metoda doprinosi efikasnijem upravljanju energetskeim resursima, omogućujući prilagođavanje raspodjele svjetlosti razlićitim danima u sedmici (Mora et al., 2019). Primjenom klasterizacije, moguće je predvidjeti potrebe za osvjetljenjem u određenim vremenskim periodima i smanjiti nepotrebnu potrošnju energije, ćime se povećava održivost sistema (Pasolini et al., 2019). Ovakav pristup je posebno koristan u urbanim sredinama i industrijskim postrojenjima gdje je optimizacija resursa od velikog znaćaja za smanjenje troškova i ekološkog otiska (Cacciatore et al., 2017). Da bi se ovaj proces uspješno realizovao, potrebno je identifikovati dane sa slićnim karakteristikama kako bi se efikasno upravljalo resursima. U tom cilju koristi se analiza varijanse (ANOVA), koja omogućava izdvajanje grupa dana na osnovu specifićnih varijabli kao što su dan u sedmici, vremenski intervali i broj detektovanih osoba (De Paz et al., 2016).

Proces klasterizacije zahtijeva uzimanje u obzir različitih parametara, uključujući vremenske intervale i dane u sedmici, kako bi se identifikovale sličnosti među njima. U ovom slučaju, primjenjuje se dvosmjerna ANOVA analiza sa ponavljanjima kako bi se odredilo koje dane je moguće smatrati sličnim. Faktori koje autori uzimaju u obzir su dani u sedmici i vremenski intervali, pri čemu svaki interval predstavlja grupni faktor. Ovaj pristup omogućava preciznu analizu ponašanja tokom sedmice (De Paz et al., 2016).

Na slici 3 prikazana je distribucija podataka za ANOVA analizu, gdje y_{ijk} označava broj detektovanih osoba u određenom intervalu i , danu j , u sedmici y , i ponavljanju k . Ponavljanja predstavljaju različite sedmice, ali za isti dan, kako bi se omogućila što preciznija analiza.

Regresioni model definisan je sljedećom formulom:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \mu_{ijk}, \mu_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$$

Primjenom ove formule moguće je analizirati uticaj različitih faktora, dok se F vrijednosti koriste za procjenu značajnosti. Vrijednost $F_{\alpha\beta}$ i F_{β} izračunava se kako bi se utvrdilo da li faktori ili njihova međusobna interakcija imaju uticaj na model. Ako je interakcija nebitna, tada broj osoba ne utiče na ponašanje sistema, što je značajno za donošenje odluka o optimizaciji distribucije svjetlosti (De Paz et al., 2016).

Za svaki dan u sedmici, ako hipoteza $H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$ nije odbijena, dan se grupiše u postojeću klasu. U suprotnom, kreira se nova grupa g_i , što omogućava preciznije definisanje klastera. Proces se završava kada su svi dani grupisani u odgovarajuće klase (De Paz et al., 2016).

Jednom kada su definisane grupe g_i , za svaku grupu se sprovodi dodatno grupisanje na osnovu vremenskih intervala i posmatranih tokova ljudi. Za ovaj proces koristi se EM algoritam, koji uzima u obzir broj ljudi tokom različitih intervala i dane dodijeljene grupi g_i . Ova tehnika omogućava formiranje klastera koji pružaju osnovu za efikasno upravljanje svjetlosnim resursima (De Paz et al., 2016).

$\alpha \backslash \beta$	Monday	Thursday	...	Sunday
Interval 1	$Y_{111}, Y_{112}, Y_{113}$	$Y_{121}, Y_{122}, Y_{123}$...	$Y_{131}, Y_{132}, Y_{133}$
Interval 2	$Y_{211}, Y_{212}, Y_{213}$	$Y_{221}, Y_{222}, Y_{223}$...	$Y_{231}, Y_{232}, Y_{233}$
...
Interval I	$Y_{i11}, Y_{i12}, Y_{i13}$	$Y_{i21}, Y_{i22}, Y_{i23}$...	$Y_{i31}, Y_{i32}, Y_{i33}$

Slika 3. Tabela sa podacima iz ANOVA metode (De Paz et al., 2016)

6.3.4. Aproksimacija potrošnje energije

Aproksimacija potrošnje energije za sistem osvjetljenja predstavlja ključan korak u optimizaciji ukupne potrošnje i smanjenju troškova (Chen, Sivaparthipan & Muthu, 2022). Ovaj proces uključuje procjenu i modeliranje potrošnje energije na osnovu različitih faktora kao što su intenzitet svjetlosti, vremenski uslovi i obrasci saobraćaja (Mohandas, Dhanaraj & Gao, 2019). Tačna aproksimacija omogućava precizno planiranje i podešavanje sistema osvjetljenja kako bi se minimizovala potrošnja energije, smanjili troškovi i povećala energetska efikasnost. Implementacijom naprednih modela i algoritama, kao što su neuronske mreže ili metode analize podataka, moguće je prilagoditi rad sistema u realnom vremenu i optimizovati distribuciju svjetlosti prema specifičnim potrebama (Garces-Jimenez et al., 2019). Time ne samo da se postiže značajna ušteda, već se i doprinosi očuvanju životne sredine smanjenjem emisije CO₂ i drugih negativnih uticaja na životnu sredinu (Murthy et al., 2015). Zbog nelinearne zavisnosti između nivoa osvjetljenja i potrošnje energije, potrebno je implementirati mehanizam koji će omogućiti precizno predviđanje potrošnje na osnovu željenog nivoa osvjetljenja, ali i obrnuto – određivanje nivoa osvjetljenja na osnovu raspoložive energije (De Paz et al., 2016).

U ovom pristupu koristi se neuronska mreža tipa MLP (Multilayer Perceptron) koja je optimizovana za treniranje uz upotrebu pristrasnosti (*bias*). Struktura mreže podrazumijeva sloj sa 7 neurona u skrivenom sloju, dok se kao aktivaciona funkcija koristi sigmoidalna funkcija. Težine neurona u skrivenom i izlaznom sloju prilagođene su na osnovu prethodnih istraživanja (De Paz et al., 2016).

Kako bi se obezbijedila tačnost modela, svi podaci su normalizovani u intervalu [0.2–0.8], što odgovara opsegu aktivacione funkcije koja se koristi u mreži. Na ovaj način, mreža može efikasno da uči i procjenjuje vrijednosti potrošnje energije u skladu sa željenim

nivoom osvjtljenja, omogućavajući precizno planiranje i kontrolu sistema osvjtljenja (De Paz et al., 2016).

6.3.5. Distribucija rashoda

Distribucija maksimalne potrošnje energije u zadatom vremenskom intervalu Z , koji korisnik unosi, zahtijeva prethodno izračunavanje minimalne potrošnje energije E_{min} za postizanje minimalnog nivoa osvjtljenja L_{min} . Ovaj vremenski period obuhvata N_h noćnih sati. Za predikciju potrošnje energije svjetlosnih tijela u zavisnosti od potrebnog nivoa osvjtljenja koristi se neuronska mreža tipa MLP (De Paz et al., 2016).

Za izračunavanje minimalne snage potrebne za održavanje minimalnog nivoa osvjtljenja koristi se neuronska mreža:

$$L_{min} \rightarrow \text{MLP}_{pow} \rightarrow \text{Pow}_{min}$$

Nakon toga, minimalni rashod energije računa se kao:

$$E_{min} = \text{Pow}_{min} \times N_h$$

Dodatni rashod energije E definisan je kao razlika između ukupne potrošnje energije E_T i minimalnog rashoda E_{min} :

$$E = E_T - E_{min}$$

Sljedeći korak je raspodjela dodatnog rashoda E između grupa dana g_i , koje su prethodno definisane kroz ANOVA analizu. Distribucija ovog rashoda zasniva se na broju noćnih sati N_{hi} u svakoj grupi i , kao i na saobraćajnom i pješaćkom protoku P_i koji postoji unutar tih grupa.

Protok pješaka i saobraćaja P_i za svaku grupu g_i izračunava se na osnovu prosječnog broja ljudi P_{dl} koji prolaze kroz područje tokom noći i broja dana D_i koji pripadaju toj grupi. Ovi podaci se izvode iz istorijskih podataka (kao što je prikazano na slici 1).

$$P_i = P_{dl} \times D_i$$

Gdje je:

$$P_{dl} = \frac{1}{JK} \sum_{l=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijk} \text{ za } j \in g_i$$

Kako bi se dodatni rashod energije pravedno rasporedio između grupa, koristi se ponderisani faktor ρ_v , koji uzima u obzir broj noćnih sati N_h i saobraćajni protok P . Tako se dodatni rashod za svaku grupu g_i računa na sljedeći način:

$$E_i = \left(\frac{N_{hi}}{N_h} \times E \times p_{Nh} \right) + \left(\frac{P_i}{P} \times E \times P_p \right)$$

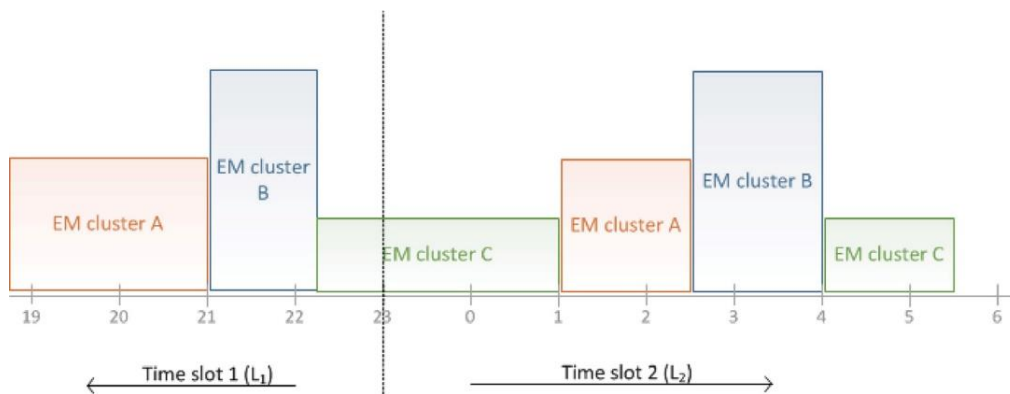
Gdje su ukupni noćni sati N_h i ukupni saobraćajni protok P :

$$N_h = \sum_{i=1}^I N_{hi}, P = \sum_{i=1}^I P_i$$

Ponderisani faktori zadovoljavaju sljedeća ograničenja:

$$0 \leq \rho_{Nh} \leq 1, 0 \leq \rho_p \leq 1, \rho_{Nh} + \rho_p = 1$$

Nakon što je izvršena raspodjela dodatnog rashoda energije za svaku grupu dana g_i , proces se ponavlja za različite vremenske intervale F_s . U obzir se uzima proporcija w_{ir} i vrijeme korišćenja n_{ir} za svaku grupu m_{ir} , koja predstavlja vrijednosti klasifikovane u EM klustere za svaku grupu g_i u ANOVA analizi, kao i cijena energije L_s u svakom vremenskom intervalu (De Paz et al., 2016).



Slika 4. Područje vremenskih intervala (De Paz et al., 2016)

Slika 4 prikazuje mogući scenario distribucije, gdje su klusteri m_{ir} rezultat EM algoritma, a svaki klaster je predstavljen pravougaonikom. Vrijeme u satima prikazano je na x-osi, dok y-osa predstavlja proporciju klastera w_{ir} , određenu na osnovu prosječnog pješačkog i saobraćajnog protoka za svaki klaster. Distribucija dodatnog rashoda E_i sprovodi se putem izračunavanja ukupne površine svakog vremenskog intervala F_s , uzimajući u obzir ponderisanu cijenu energije u tim intervalima.

Rashod energije za svaki vremenski interval E_{is} računa se prema sljedećoj formuli:

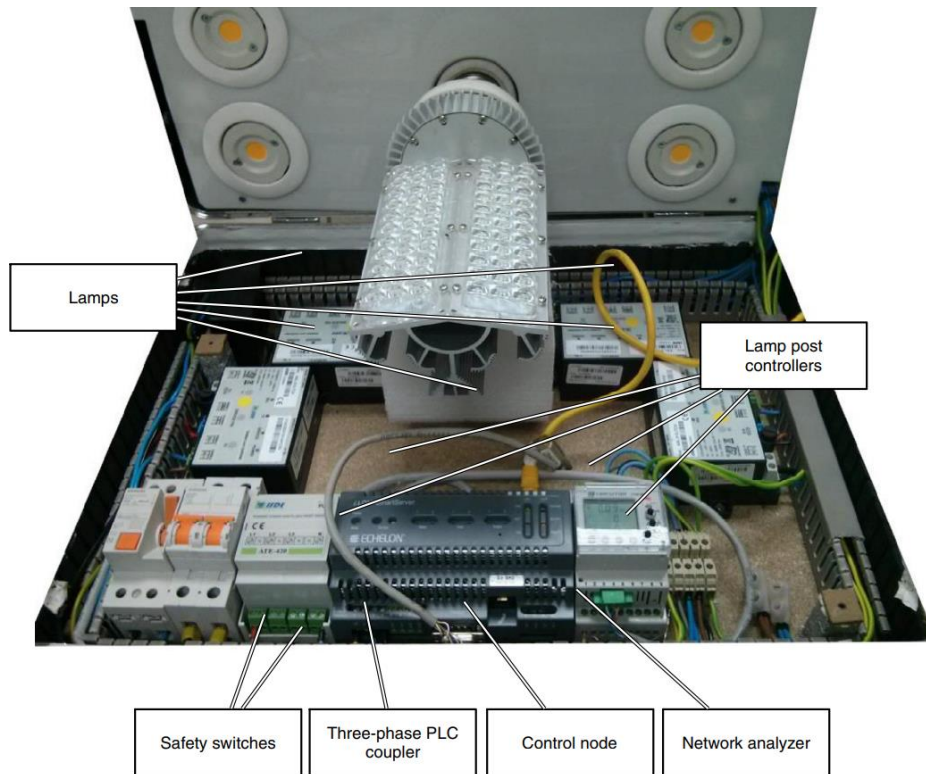
$$E_{is} = \sum_{r=4}^{R_i} n_{ir} \times w_{ir} \times L_s$$

Nakon što je izvršena distribucija rashoda za svaki vremenski interval F_s , cijena energije ostaje konstantna za sve intervale unutar grupe g_i . Svaki rashod E_{is} odgovara količini energije koja se troši u intervalima s tokom perioda Z , koji je korisnik definisao na početku procesa (De Paz et al., 2016).

6.3.6. Rezultati

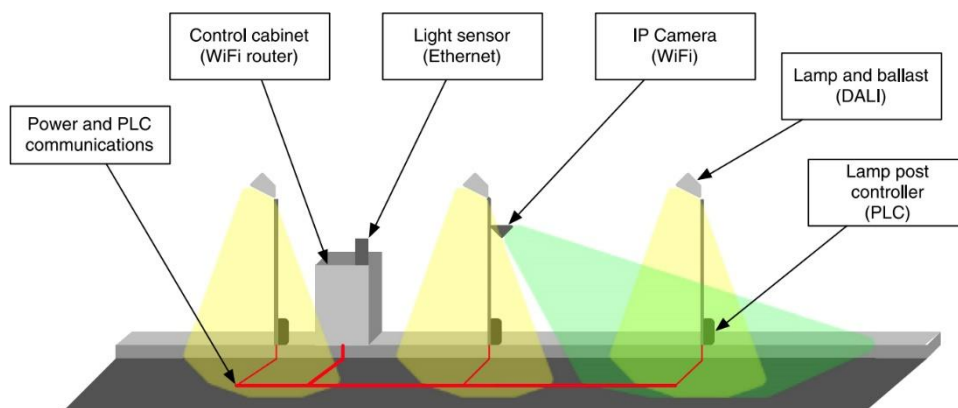
Za verifikaciju validnosti sistema sprovedena je studija slučaja u laboratorijskom/eksperimentalnom okruženju (prototip), simulirajući uličnu rasvjetu. Razvoj prvog prototipa započet je nabavkom hardverskog rješenja, koje je instalirano u koferu; na slici 5 je prikazano okruženje prototipa koje simulira instalaciju pet uličnih lampi sa kontrolnim čvorom. U svrhu testiranja kontrolnog sistema korišćene su četiri unutrašnje lampe i jedna spoljašnja, što je omogućilo smanjenje troškova hardverskog dijela. Svaka lampa se kontroliše putem podesivog balasta smještenog u gornjoj ploči, dok kontroler za osvjjetljenje upravlja i nadgleda svaki balast, i komunicira sa kontrolnim čvorom (De Paz et al., 2016).

Kontroleri za osvjjetljenje brenda ISDE (model ASL-510-TCH) smješteni su unutar lampi i povezuju se sa kontrolnim čvorom preko PLC-a. Ovi kontroleri primaju komande putem linije za regulaciju balasta koristeći DALI protokol, uz stalno praćenje statusa, potrošnje i napajanja svake lampe. Izabran je Echelon Smart Server kao glavni kontroler za automatizaciju ne-kritičnih procesa, omogućavajući nadzor i kontrolu do 192 lampe preko PLC-a, dok se SOAP interfejs koristi za konfiguraciju i daljinsko upravljanje sistema. Signal koji PLC emituje iz kontrolnog čvora replicira se u tri faze pomoću trofaznog couplera PLC-a. Analizator mreže, model CVM-MINI brenda Circutor, povezan je putem paralelnog porta RS-485 sa Echelon SmartServer-om, koristeći MODBUS protokol. Za prototipni sistem za procjenu pješackog prometa korišćena je IP kamera TP-LINK DSC-942L postavljena na prozoru (De Paz et al., 2016).



Slika 5. Okruženje prototipa koje simulira instalaciju pet uličnih lampi (De Paz et al., 2016)

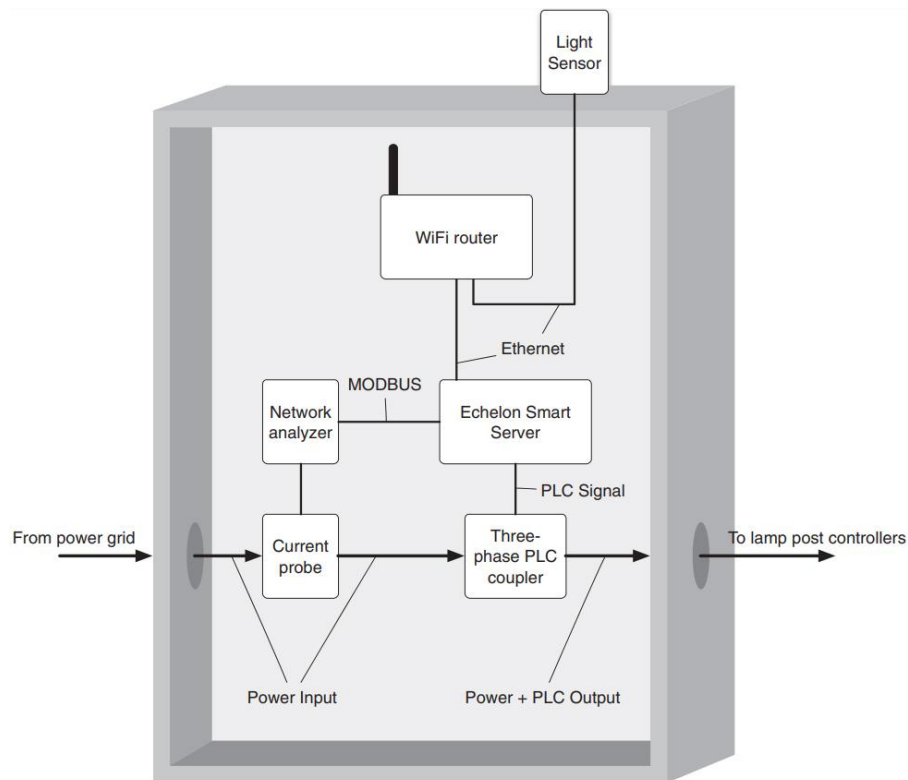
Na slici 6 prikazan je osnovni raspored implementacije u ulici pod kontrolom analiziranog sistema. U sljedećem pasusu biće opisan sadržaj kontrolne table, koji je sličan onom na razvojnom prototipu. DALI balasti su instalirani u svakoj lampi, uz kontroler koji komunicira sa Smart Server Dashboard-om (De Paz et al., 2016).



Slika 6. Implementacija u stvarnom okruženju (De Paz et al., 2016)

Instaliran je senzor svjetlosti u kontrolnoj tabli za procjenu ambijentalnih svjetlosnih uslova i svjetlosnog izlaza lampi. Spoljašnja IP kamera sa infracrvenim vidom (Foscam

FI8905W) koristi se za prikupljanje slika koje pomažu u procjeni protoka pješaka i saobraćaja u ulici. Dijagram unutrašnje strukture kontrolne table prikazan je na slici 7. Kao što je prikazano, WiFi ruter/prekidač omogućava daljinski pristup Smart Serveru i senzoru svjetlosti putem komunikacione infrastrukture postavljene u naselju (De Paz et al., 2016).



Slika 7. Kontrolni kabinet sa ugrađenim hardverom (De Paz et al., 2016)

Za konstrukciju senzora svjetlosti korišćen je Arduino mikrokontroler sa Ethernet povezivanjem i TEMA6000 senzor svjetlosti. Senzoru se može pristupiti putem komunikacione mreže. I senzor svjetlosti i Smart Server su povezani putem Ethernet-a sa WiFi ruterom. Sav električni instalacijski rad se kontroliše preko kontrolne table, gdje se kontrolni signal unosi putem PLC-a koristeći fazni coupler. Ostali uređaji korišćeni u studiji slučaja su identični onima korišćenim u razvoju. Inteligentni agenti i servisi su postavljeni na virtuelne mašine na privatnom serveru instaliranom na Univerzitetu u Salamanki (De Paz et al., 2016).

Kako bi se provjerila tačnost sistema, razvijen je pametan dizajn osvjetljenja koji prati parametre iz prethodnog dijela. Slikom 8 prikazana je konfiguracija osvjetljenja tokom godine. Podaci uključuju (De Paz et al., 2016):

- Opseg istorijskog protoka pješaka/saobraćaja: Treba izabrati vremenski period za analizu istorijskih podataka i prepoznavanje obrazaca. U ovom slučaju, izabran je period od trinaest dana u aprilu 2013. godine (od 15. do 28. aprila);
- Vrijeme: Ako korisnik želi da svjetla budu uključena ili isključena prije ili poslije određenih trenutaka, potrebno je uzeti u obzir vremenske uslove. Sistem će prilagoditi sate uključivanja/isključivanja prema vremenskoj prognozi za navedene datume;
- Maksimalno vrijeme: Maksimalno trajanje tokom kojeg se svjetla mogu uključivati ili isključivati prije, tokom ili poslije zore i sumraka. Postavljena je maksimalna granica od 30 minuta;
- Granice protoka pješaka/saobraćaja: Definišu minimalne i maksimalne pragove za broj pješaka. Minimalna granica označava nivo osvjetljenja koji se mora održati, dok maksimalna granica označava nivo koji se može postići. Donja granica je postavljena na 10 pješaka, dok je gornja granica na 1700 pješaka;
- Granice svjetlosnog fluksa: Minimalni i maksimalni nivoi dozvoljenih lumena (maksimalni nivo ne može biti veći od dozvoljenog za svaku instalaciju). Donja granica je 300 lumena, dok je gornja granica 3000 lumena;
- Omogućiti limit troškova: Ako korisnik želi da postavi maksimalnu procijenjenu potrošnju, što u ovom slučaju nije urađeno za rezultate prikazane u simulaciji.

New Intelligent Lighting Calendar Maletin

Intelligent lighting calendar parameters

Pedestrian range From: 2013-04-15 To: 2013-04-28
Pedestrian data flow to be considered in the days classification

Weather Affect weather
Each week turn on/off times will be updated in accordance with the weather forecast of the place.
The time threshold relative to sunset and sunrise will be at most the next parameter.

Max time bad weather 30 min
Max time in minutes system can turn on before or turn off after the lamps due to bad weather.

Pedestrian data flux limits Lower limit: 10 Upper limit: 1700
The lower limit represents the minimum amount of traffic or pedestrian on which is maintained the minimum luminosity allowed for the area.
The upper limit establish the minimum amount of traffic or pedestrian on which is maintained the maximum luminosity allowed for the area.

Luminous flux limit Lower limit: 300 lumens Upper limit: 3000 lumens
The lower limit represents the minimum luminosity allowed for the area.
The upper limit establish the maximum luminous flux allowed.

Enable expense limit Set approximate maximum expense each year
The tool allows you to establish luminous flux of the area suitable with a maximum year expense.

Approximate maximum expense 430 €
Approximate max expense per week.

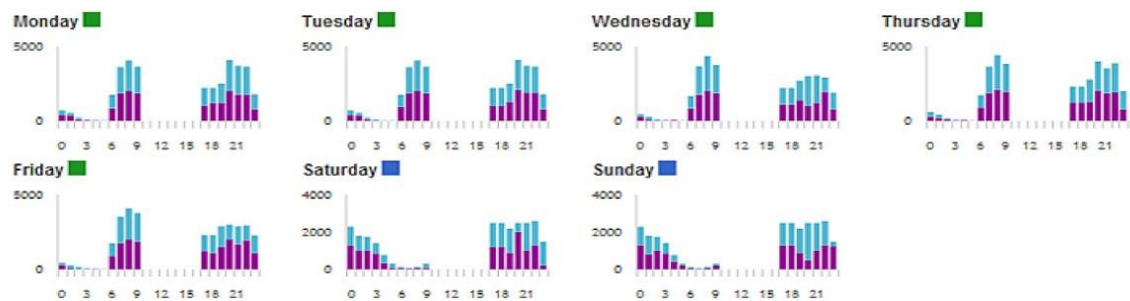
Pedestrian flux influence 50 %
Pedestrian flux influence for the distribution of the money

Night hours influence 50 %
Night hours influence for the distribution of the money

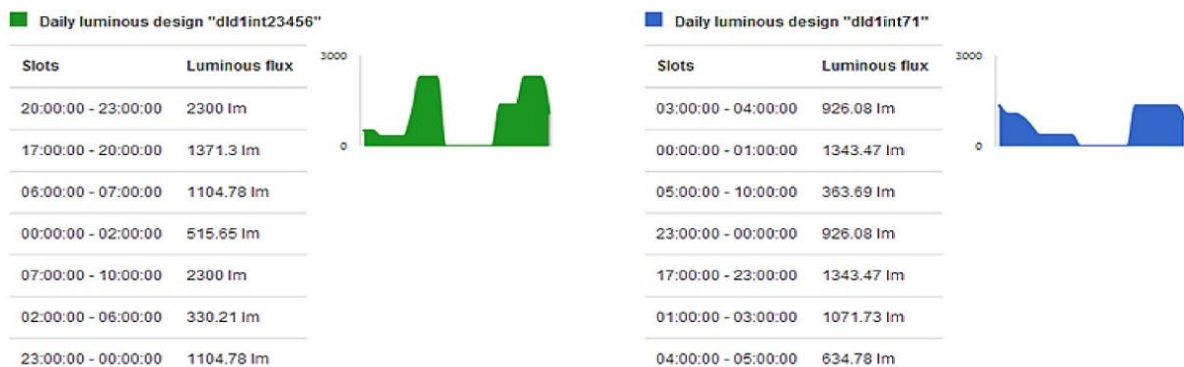
Slika 8. Procjena godišnjeg kalendara osvjetljenja (De Paz et al., 2016)

Rezultati kreiranja pametnog kalendara osvjetljenja na osnovu prethodno definisanih parametara su prikazani na slici 9. Na gornjim panelima su prikazani podaci o protoku pješaka tokom dva uzastopna nedjeljna perioda, pri čemu je jedan period označen ljubičastom bojom, a drugi plavom. Korišćenjem ANOVA metode, analizirani su obrasci saobraćaja i podijeljeni u dvije grupe: zelenu za radne dane i plavu za vikende. Donji grafici prikazuju predložene dizajne osvjetljenja za svaku od ovih grupa. Uočava se da vikendi imaju uniforman obrazac, dok radni dani pokazuju drugačiji raspored. Primjenom EM algoritma, identifikovani su periodi sa sličnim obrascima saobraćaja, što je omogućilo prilagođavanje nivoa osvjetljenja za svaku grupu dana (De Paz et al., 2016).

Days classification



Daily lighting generated configurations



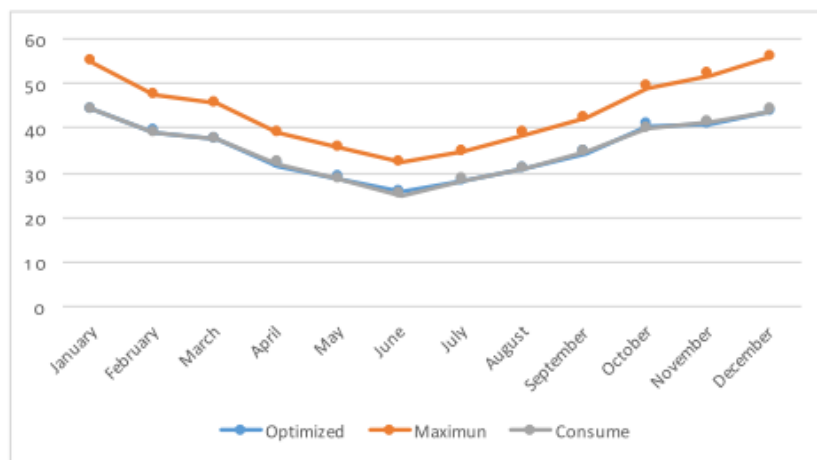
Slika 9. Izračunati klaster i godišnji kalendar osvjetljenja (De Paz et al., 2016)

Prema kreiranom kalendaru osvjetljenja, sistem prikazuje podatke o predviđenoj potrošnji. Na Slici 10 su prikazani mjesečni troškovi i uštede. Sistem upoređuje stvarnu potrošnju sa planiranim kalendarom i maksimalnim nivoima svjetlosti, pri čemu je ostvarena ušteda od 19,22% (De Paz et al., 2016).



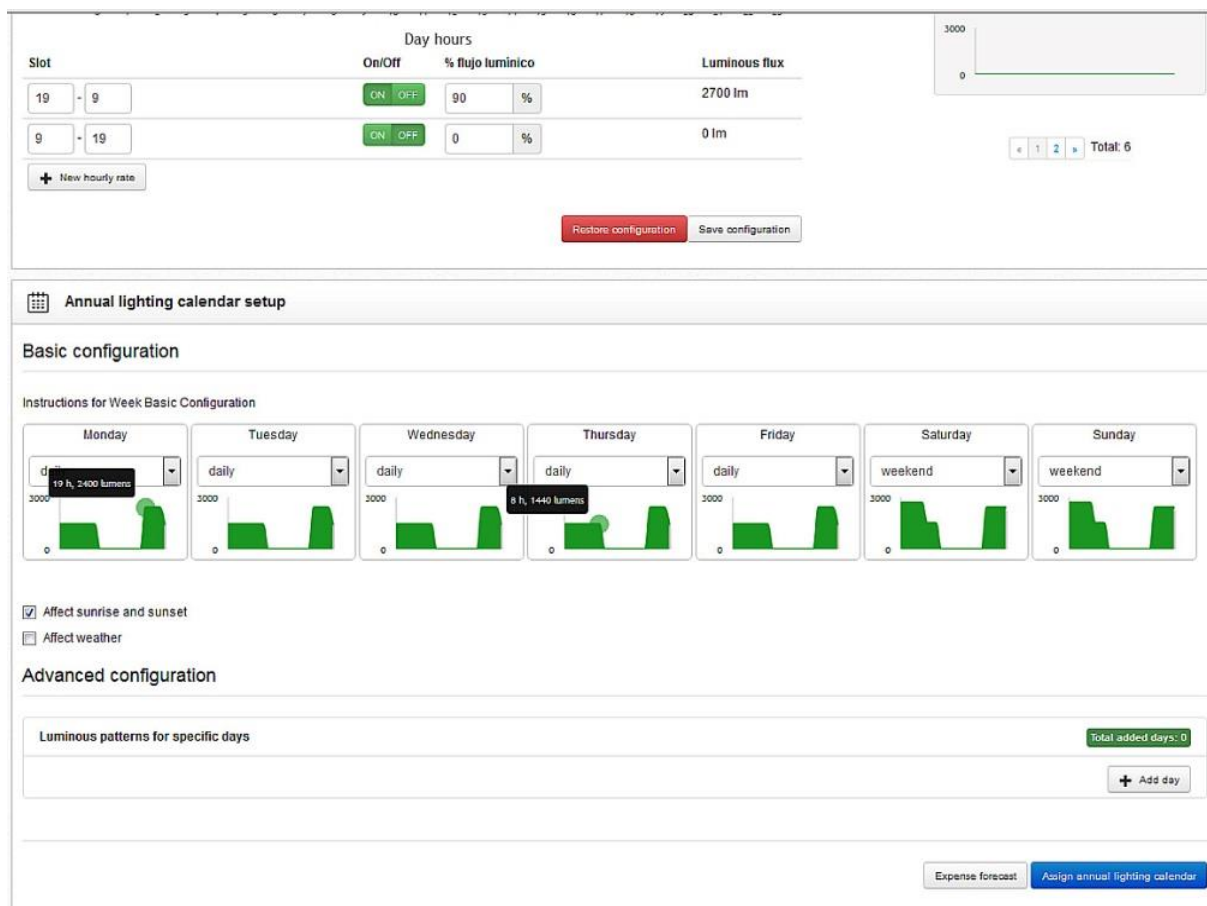
Slika 10. Izložena prognoza (De Paz et al., 2016)

Upoređuju se stvarni troškovi sa predviđenim i maksimalnim troškovima za osvjetljenje. Slikom 11 je prikazano da sistem sa velikom tačnošću prognozira troškove, uz male varijacije koje su posljedica vremenskih uslova. Takođe, primjećuje se da je potrošnja najmanja tokom ljetnjih mjeseci, jer sistem automatski prilagođava intenzitet svjetlosti u skladu sa vremenom izlaska i zalaska sunca (De Paz et al., 2016).



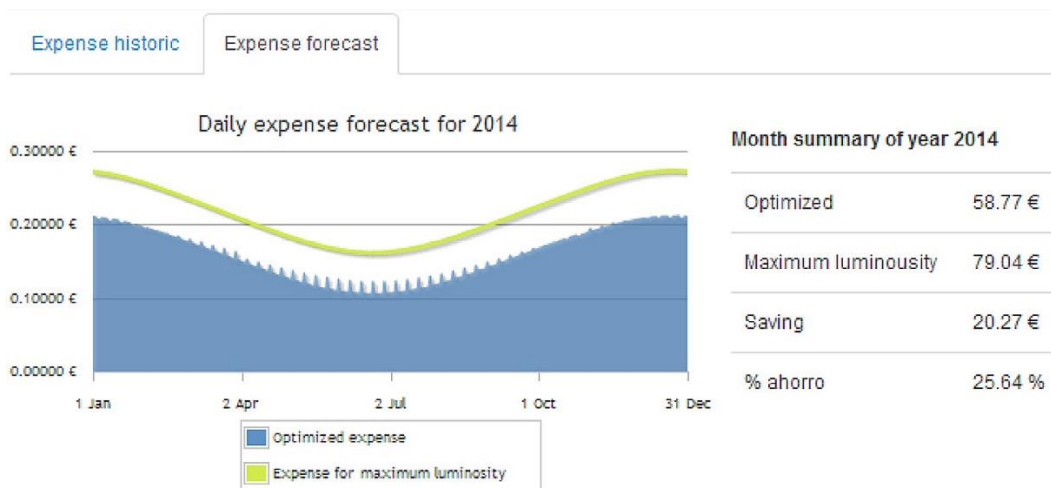
Slika 11. Trošak u eurima po mjesecu za optimizovano, maksimalno i stvarno osvjetljenje (De Paz et al., 2016)

Korisnici takođe imaju mogućnost ručne konfiguracije osvjetljenja putem sistema. Mogu definisati raspored svjetlosti i dodijeliti različite obrasce za svaki dan, što je korisno za prilagođavanje specifičnim uslovima na određenim danima. Slikom 12 je prikazan primjer obrazaca za ručnu konfiguraciju (De Paz et al., 2016).



Slika 12. Prognoza (De Paz et al., 2016)

Na slici 13 prikazana je ažurirana prognoza dnevne potrošnje i godišnjeg rasporeda osvjetljenja za novu konfiguraciju. Zelena linija pokazuje troškove kada su sva svjetla na maksimalnom intenzitetu tokom noći, dok plava oblast prikazuje procijenjenu potrošnju prema novom modelu. U ovoj konfiguraciji, ostvarena je približna ušteda od 25%, dok se maksimalni nivo svjetlosti očuvao tokom perioda sa najvećim saobraćajem i protokom pješaka (De Paz et al., 2016).



Slika 13. Predikcija dnevne i godišnje potrošnje (De Paz et al., 2016)

6.3.7. Kritički osvrt na prikazani model i mogućnost unapređenja

Sistem inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom, kako je prikazan u istraživanju koje su sprovedi De Paz et al. (2016), predstavlja naprednu tehnološku integraciju, koja koristi složene algoritme i modele kako bi optimizovala potrošnju energije u urbanim sredinama. Ovaj sistem se oslanja na robustnu arhitekturu koja omogućava dinamičko upravljanje rasvjetom u skladu sa trenutnim uslovima, što predstavlja značajan pomak u odnosu na tradicionalne sisteme. Ipak, kao i svaki tehnološki sistem, postoji prostor za unapređenje kako bi se postigli još bolji rezultati u smislu energetske efikasnosti, prilagodljivosti i pouzdanosti.

Prednosti analiziranog sistema

Jedna od osnovnih prednosti analiziranog sistema inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom je njegova sposobnost dinamičkog prilagođavanja nivoa osvjetljenja na osnovu podataka koje prikupljaju različiti senzorski čvorovi raspoređeni po urbanim područjima. Ova dinamička kontrola omogućava precizno regulisanje intenziteta svjetlosti u realnom vremenu, što doprinosi optimizaciji potrošnje energije i smanjenju nepotrebnog rasipanja električne energije. Na primjer, nivo osvjetljenja se automatski smanjuje kada su prisutni uslovi dovoljnog prirodnog osvjetljenja ili u situacijama kada senzori detektuju odsustvo pješaka, biciklista ili vozila u blizini. Takva fleksibilnost i adaptivnost čine ovaj sistem izuzetno efikasnim u postizanju energetske uštede, dok se istovremeno osigurava adekvatna osvjetljenost u kritičnim zonama, poput raskrsnica, pješačkih prelaza i drugih važnih tačaka u urbanim sredinama.

Implementacija EM algoritma za klasterizaciju podataka i ANOVA metode za analizu varijanse omogućava sistemu da identifikuje obrasce u ponašanju urbanih zona tokom različitih vremenskih perioda. EM algoritam pruža mogućnost analize latentnih (skrivenih) varijabli koje utiču na potrebe za osvjetljenjem, omogućavajući bolje razumijevanje urbanih dinamika i prilagođavanje režima osvjetljenja svakodnevnim fluktuacijama. ANOVA, s druge strane, omogućava analizu varijansi između različitih vremenskih intervala i dana u sedmici, što doprinosi preciznijem određivanju specifičnih potreba za osvjetljenjem u zavisnosti od konteksta, npr. radnim danima u odnosu na dane vikenda ili tokom različitih sezona.

Ovaj sofisticirani pristup omogućava kreiranje klastera dana sa sličnim karakteristikama potrošnje energije i potrebama za osvjetljenjem. Klasterizacija na osnovu vremenskih intervala, omogućena primjenom EM algoritma, osigurava da sistem identifikuje i grupiše dane koji imaju slične obrasce potrošnje energije. Ovo rezultira efikasnijim raspoređivanjem svjetlosnih resursa, minimizirajući potrošnju energije u periodima kada je nivo osvjetljenja manje kritičan, dok se resursi preusmjeravaju u vremenske intervale ili zone sa većom potrebom za osvjetljenjem. Takođe, analizom podataka u vremenskim intervalima, sistem može adaptivno reagovati na promjene tokom dana, na primjer, povećavajući osvjetljenje tokom vrhunca saobraćaja ili smanjujući ga u kasnim noćnim satima.

Jedna od naprednih tehnologija integrisanih u ovaj sistem je upotreba neuronskih mreža, konkretno MLP, za predikciju potrošnje energije i optimizaciju raspodjele osvjetljenja. Neuronske mreže, kao modeli zasnovani na mašinskom učenju, omogućavaju sistemu da uči iz istorijskih podataka i prepoznae složene obrasce koji nisu očigledni standardnim statističkim metodama. MLP se koristi za modeliranje nelinearnih odnosa između ulaznih podataka (poput saobraćajnih obrazaca, vremenskih uslova i nivoa prirodnog osvjetljenja) i izlaza u vidu potrebnog nivoa umjetne rasvjete. Kroz proces obuke, MLP neuronske mreže postaju sposobne da predviđaju potrošnju energije u budućim scenarijima, omogućavajući tako optimalno upravljanje resursima i smanjenje ukupne potrošnje energije, dok se istovremeno održava potreban nivo sigurnosti na ulicama.

Jedna od glavnih karakteristika ovog sistema je njegova fleksibilnost. Zahvaljujući bežičnoj komunikacionoj infrastrukturi, sistem je jednostavan za implementaciju i proširenje bez potrebe za velikim infrastrukturnim radovima. Bežična tehnologija omogućava lakše povezivanje senzora i kontrolnih jedinica, što smanjuje troškove instalacije i održavanja. Ova fleksibilnost je posebno korisna za urbane sredine koje žele postepeno unapređivati svoju

infrastrukturu javne rasvjete, dodajući nove komponente i funkcionalnosti kako se potrebe zajednice mijenjaju.

Modularna priroda sistema dodatno doprinosi njegovoj prilagodljivosti i skalabilnosti. Modularnost omogućava jednostavno dodavanje novih senzora, algoritama ili funkcionalnosti kako tehnologija napreduje ili se potrebe urbanih zona mijenjaju. Na primjer, ukoliko se identifikuje potreba za dodatnim praćenjem specifičnih parametara, poput zagađenja vazduha ili nivoa buke, senzorski moduli se mogu lako integrisati u postojeću infrastrukturu. To omogućava gradovima i opštinama da kontinuirano unapređuju sistem bez potrebe za potpunom rekonstrukcijom postojećih instalacija.

U cjelini, ovaj sistem predstavlja visokotehnoško rješenje koje obuhvata napredne algoritme za obradu podataka, adaptivne modele mašinskog učenja i fleksibilnu infrastrukturnu arhitekturu. Ovakva integracija omogućava gradovima da postižu značajne energetske uštede, smanjuju emisije CO₂ i poboljšavaju kvalitet života svojih stanovnika kroz efikasno upravljanje javnom rasvjetom.

Nedostaci analiziranog sistema

Iako analizirani sistem inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom nudi brojne prednosti, njegovu efikasnost ograničavaju određeni faktori koji su rezultat tehničkih, algoritamskih i infrastrukturnih izazova. Detaljnim ispitivanjem ovih izazova, mogu se identifikovati potencijalna poboljšanja koja bi mogla doprinijeti daljoj optimizaciji sistema i prevazilaženju postojećih ograničenja.

Jedan od bitnih tehničkih izazova odnosi se na upotrebu EM algoritma za klasterizaciju podataka. Iako ovaj algoritam omogućava prepoznavanje skrivenih obrazaca i grupisanje podataka na osnovu latentnih varijabli, njegova primjena može biti ograničena složenošću urbanih sredina. EM algoritam je poznat po svojoj osjetljivosti na inicijalne postavke, što znači da početne vrijednosti koje se koriste u algoritmu mogu značajno uticati na konačne rezultate. U kompleksnim urbanim sredinama, gdje su obrasci potrošnje energije i potrebe za osvjetljenjem često nelinearni i dinamični, suboptimalni rezultati mogu dovesti do loših performansi sistema. Na primjer, ukoliko inicijalni klasteri nisu adekvatno postavljeni, sistem može identifikovati nepravilne grupe, što može rezultirati neprikladnim podešavanjem rasvjete u različitim vremenskim periodima.

Ograničenja u prikupljanju podataka takođe predstavljaju ozbiljan izazov. Sistem zavisi od senzora za prikupljanje podataka o okruženju, poput nivoa prirodnog osvjetljenja, prisustva saobraćaja, vremenskih prilika, i drugih faktora koji utiču na potrebe za umjetnim osvjetljenjem. Međutim, senzori su podložni tehničkim ograničenjima i mogu imati problema sa detekcijom promjena u okruženju, posebno u uslovima koji nadilaze njihove specifikacije. Na primjer, nagle promjene u vremenskim prilikama, kao što su iznenadne oluje ili gusta magla, mogu ometati senzore i dovesti do netačnih podataka, što može rezultirati neadekvatnim podešavanjem rasvjete. Slično tome, senzori koji prate saobraćajne tokove mogu imati poteškoća u detekciji neočekivanih skokova u saobraćaju, poput vanrednih situacija ili velikih događaja, što može značajno uticati na performanse sistema.

Još jedan izazov leži u upotrebi neuronskih mreža, tačnije MLP modela, za predikciju potrošnje energije i optimizaciju raspodjele svjetlosnih resursa. Iako su neuronske mreže izuzetno moćne u modeliranju složenih nelinearnih odnosa, njihova primjena u stvarnim scenarijima zahtijeva veliku količinu podataka za obuku kako bi se postigli optimalni rezultati. U praksi, to znači da sistem mora imati pristup obimnom i raznovrsnom skupu podataka kako bi neuronske mreže mogle da nauče adekvatne obrasce i daju tačne predikcije. Ukoliko podaci nisu dovoljno reprezentativni ili ako obuka ne uključuje sve moguće scenarije (kao što su ekstremni vremenski uslovi, vanredne situacije ili nepredviđeni događaji), neuronska mreža može generisati netačne predikcije. Takvi neprecizni rezultati mogu dovesti do neefikasnog upravljanja potrošnjom energije, što poništava prednosti koje sistem treba da pruži.

Osim toga, bežična komunikaciona infrastruktura na kojoj se zasniva ovaj sistem, iako pruža fleksibilnost u implementaciji i proširenju, nosi sa sobom određene rizike. Bežični sistemi su podložni ometanjima, prekidima u komunikaciji i smetnjama uzrokovanim različitim faktorima kao što su elektromagnetna interferencija, fizičke prepreke ili zagušenje mreže. U urbanim sredinama sa visokom gustinom saobraćaja i velikom koncentracijom bežičnih uređaja, održavanje stabilne i pouzdane komunikacije može biti izuzetno izazovno. Ometanje signala može dovesti do prekida u prenosu podataka između senzora i centralne upravljačke jedinice, što može rezultirati kašnjenjem ili netačnim prilagođavanjem osvjetljenja. U najgorem slučaju, potpuni prekid komunikacije može dovesti do pada sistema, što ugrožava pouzdanost i sigurnost javne rasvjete.

Pored tehničkih i infrastrukturnih izazova, još jedan aspekt koji treba uzeti u obzir su operativni troškovi i održavanje. Iako sistem nudi dugoročne uštede u potrošnji energije,

inicijalni troškovi implementacije naprednih algoritama, bežične infrastrukture i senzora mogu biti značajni. Pored toga, održavanje takvog složenog sistema zahtijeva specijalizovano znanje i redovno servisiranje kako bi se osigurala njegova optimalna funkcionalnost. Eventualni kvarovi ili potreba za zamjenom komponenti mogu dodatno povećati troškove održavanja, što može predstavljati izazov za lokalne vlasti, posebno u manjim opštinama sa ograničenim budžetima.

U zaključku, iako analizirani sistem donosi napredne tehnologije i značajne koristi u oblasti energetske efikasnosti i održivosti, njegovi nedostaci leže u tehničkoj složenosti, zavisnosti od kvaliteta prikupljenih podataka, rizicima vezanim za bežičnu infrastrukturu i operativnim troškovima. Rješavanje ovih izazova zahtijeva dalji razvoj algoritama, poboljšanje kvaliteta senzorskih podataka, jačanje bežične infrastrukture i pronalaženje održivih rješenja za dugoročno održavanje sistema.

Predlozi za poboljšanje

Unapređenje inteligentnog sistema upravljanja javnom rasvjetom zahtijeva primjenu naprednijih tehnologija, optimizaciju postojećih komponenti i bolju integraciju sa širim urbanim ekosistemom. Predložene mjere za poboljšanje mogu značajno povećati efikasnost, pouzdanost i fleksibilnost sistema, dok istovremeno smanjuju energetske troškove i omogućavaju precizniju kontrolu nad različitim aspektima urbanog okruženja.

Jedan od prvih koraka ka poboljšanju je integracija naprednijih algoritama za analizu podataka, posebno algoritama mašinskog učenja zasnovanih na dubokom učenju. Klasični algoritmi, poput EM algoritma, pružaju solidne rezultate u prepoznavanju obrazaca, ali njihova ograničenja postaju očigledna u složenim urbanim sredinama sa dinamičnim i nelinearnim obrascima. Algoritmi dubokog učenja, kao što su konvolucione neuronske mreže (CNN) ili rekurentne neuronske mreže (RNN), imaju sposobnost da analiziraju složene skupove podataka i prepoznaju dublje korelacije između varijabli. Ovi napredni algoritmi mogu poboljšati preciznost predikcija u smislu potrebnog nivoa osvjetljenja, omogućavajući sistemu da se bolje prilagodi promjenljivim uslovima u realnom vremenu. Na primjer, CNN modeli mogu biti korišćeni za analizu vizuelnih podataka o saobraćaju ili vremenskim prilikama, dok RNN modeli mogu analizirati vremenske serije podataka, kao što su istorijski obrasci potrošnje energije.

Takođe, diversifikacija senzorskih mreža može značajno unaprijediti funkcionalnost sistema. Postojeća mreža senzora može biti proširena uvođenjem novih senzora za monitoring

dodatnih parametara koji mogu uticati na potrebe za osvjetljenjem i energetske potrošnje. Na primjer, senzori za praćenje nivoa zagađenja vazduha mogu omogućiti optimizaciju osvjetljenja u zavisnosti od kvaliteta vazduha, smanjujući svjetlosno zagađenje u slučajevima visoke koncentracije čestica u vazduhu. Senzori temperature površine puteva mogu doprinijeti boljoj adaptaciji osvjetljenja uslovima na putu, što je posebno važno tokom zimskih mjeseci, kada niske temperature i smanjena vidljivost predstavljaju izazov za sigurnost saobraćaja.

Pored senzorske diversifikacije, uvođenje redundantnih komunikacionih kanala može značajno poboljšati pouzdanost sistema. Trenutno oslanjanje na bežičnu komunikacionu infrastrukturu nosi određene rizike, uključujući mogućnost prekida komunikacije usljed elektromagnetnih smetnji ili fizičkih prepreka. Hibridni sistemi koji kombinuju bežičnu i kablovsku infrastrukturu mogu smanjiti rizik od prekida komunikacije i obezbijediti kontinuiran rad sistema, čak i u slučajevima kada je bežična mreža ugrožena. Na primjer, u urbanim sredinama sa visokom gustom bežičnih uređaja, hibridni pristup bi osigurao da podaci o stanju senzora i potrebama za osvjetljenjem mogu biti preneseni putem kablovskih veza, čime se smanjuje rizik od gubitka podataka i omogućava stabilniji rad sistema.

Još jedan značajan aspekt poboljšanja odnosi se na prediktivne modele za potrošnju energije. Trenutna zavisnost od neuronskih mreža za predikciju može biti ograničena velikom količinom podataka potrebnih za treniranje. Kao rješenje, predlaže se primjena adaptivnih modela koji se stalno prilagođavaju novim podacima. Ovi modeli bi omogućili sistemu da kontinuirano uči iz podataka u realnom vremenu, smanjujući potrebu za inicijalnim velikim setovima podataka i omogućavajući bolju prilagodljivost nepredviđenim situacijama. Na primjer, adaptivni modeli mogu automatski korigovati svoje parametre u zavisnosti od promjena u okruženju, poput naglih promjena u saobraćaju ili ekstremnih vremenskih uslova, čime se poboljšava tačnost predikcija i optimizacija potrošnje energije.

Konačno, glavno poboljšanje sistema moglo bi biti dalja integracija sa širim urbanim ekosistemom. Sistem za upravljanje javnom rasvjetom može biti povezan sa drugim pametnim gradskim sistemima, poput sistema za upravljanje saobraćajem, klimatskih kontrolnih sistema, ili čak energetskih mreža. Ova integracija bi omogućila međusobnu sinergiju između različitih infrastruktura, optimizujući ne samo rasvjetu, već i druge aspekte urbanog života. Na primjer, povezivanjem sa sistemima za upravljanje saobraćajem, sistem za javnu rasvjetu može automatski prilagoditi osvjetljenje na osnovu trenutnog stanja saobraćaja, dok povezivanje sa klimatskim sistemima može omogućiti prilagođavanje osvjetljenja vremenskim uslovima. Na

taj način, inteligentna rasvjeta postaje dio šire mreže pametnog grada, doprinosi smanjenju ukupne potrošnje energije i poboljšava kvalitet života građana.

Implementacija ovih poboljšanja bi značajno unaprijedila funkcionalnost, pouzdanost i efikasnost sistema inteligentnog upravljanja javnom rasvjetom, omogućavajući dalju optimizaciju resursa i smanjenje negativnih uticaja na okolinu.

ZAKLJUČAK

Pametno javno osvjetljenje predstavlja modernizovanu i inteligentnu verziju javnog osvjetljenja. Prednosti pametnog javnog osvjetljenja ogledaju se u energetskej efikasnosti, adaptivnosti i fleksibilnosti, poboljšanoj bezbjednosti i bezbjednosnim aspektima, i integraciji sa drugim sistemima. Bez obzira na svoje prednosti, pametno javno osvjetljenje ima neke potencijalne nedostatke i izazove. Oni uključuju početne troškove instalacije i konfiguracije sistema, potrebu za održavanjem i nadogradnjom tehnologije, kao i izazove u vezi sa privatnošću i sigurnošću podataka. Ukratko, pametno javno osvjetljenje predstavlja naprednije i inteligentnije rješenje upravljanja osvjetljenjem u javnim prostorima. Ono nudi značajne prednosti, uključujući energetskej efikasnost, adaptivnost, daljinsko upravljanje i poboljšanu bezbjednost. Ipak, treba analizirati pojedinačne uslove i potrebe prije implementacije pametnog javnog osvjetljenja i biti oprezan u smislu potencijalnih nedostaka i izazova koji se mogu pojaviti.

Javna rasvjeta je trenutno srž mnogih inicijativa pametnih gradova širom svijeta. Zamjenom tradicionalnih uličnih svjetiljki sa LED lampama, komunalna preduzeća mogu smanjiti troškove energije i rada. Dalje uštede se mogu postići uvođenjem adekvatne kontrole zatamnjenja tokom sati van špica, kao i umrežavanjem ulične rasvjete, uvođenjem mogućnosti detekcije stvarnih uslova (saobraćaj, vremenske prilike, uslovi osvjetljenja) i zatamnjenja svjetla u skladu sa tim. Omogućavanje takvih funkcionalnosti, pretvarajući infrastrukturu osvjetljenja u pametnu, moglo bi dovesti do velike ukupne uštede.

Osim uštede energije, pošto svako pametno ulično svjetlo treba da ima dvosmjerne komunikacione mogućnosti, sveprisutna komunikaciona mreža širom grada proizilazi iz infrastrukture osvjetljenja. Ulična svjetla više nisu izolovani elementi, već bi mogla da uspostave multifunkcionalnu komunikacionu mrežu širom grada, sposobnu da prenosi informacije, prikuplja podatke i pruža usluge milionima IoT uređaja. Ulična rasvjeta bi tako mogla da podrži IoT usluge širom grada, što će ih učiniti ključnim pokretačima revolucije pametnih gradova.

Naučni doprinos ovog istraživanja ogleda se u sveobuhvatnom pregledu primjene vještačke inteligencije u pametnim gradovima, analizi izazova i prepreka s kojima su se suočavali, kao i u identifikaciji budućih smjerova razvoja. Rad je doprinio postojećim istraživanjima pružajući detaljan uvid u konkretne primjere primjene vještačke inteligencije u

različitim aspektima urbanih prostora, kao i razmatranjem implikacija takvih primjena na društvo, ekonomiju i životnu sredinu. Takođe, istraživanje je identifikovalo prilike za buduće istraživačke napore u oblasti pametnih gradova, pružajući smjernice za dalji razvoj tehnoloških inovacija i politika urbanog planiranja.

Istraživanje je naišlo na određena ograničenja. Prvo, ograničena dostupnost podataka o primjeni vještačke inteligencije u pametnim gradovima otežala je dublju analizu i generalizaciju rezultata. Drugo, fokus istraživanja samo na primjenu vještačke inteligencije u pametnim gradovima značio je da neki aspekti primjene te tehnologije ili drugi faktori koji utiču na transformaciju urbanih prostora nijesu bili potpuno obuhvaćeni. Treće, postojala je mogućnost pristrasnosti u analizi i interpretaciji rezultata, što je bilo posljedica ograničene dostupnosti literature ili izbora analitičkih metoda.

Za dalja istraživanja preporučuju se sljedeći pravci. Prvo, potrebna je dublja analiza specifičnih izazova i prednosti primjene vještačke inteligencije u određenim sektorima pametnih gradova, poput saobraćaja ili upravljanja energijom, kako bi se razumjeli konkretni efekti i mogućnosti optimizacije. Drugo, istraživanje bi trebalo proširiti na uključivanje perspektive korisnika i građana kako bi se bolje razumjele njihove potrebe i preferencije u procesu implementacije vještačke inteligencije u pametnim gradovima. Treće, treba razmotriti uticaj različitih socio-ekonomskih faktora na implementaciju vještačke inteligencije u urbanoj sredini kako bi se identifikovali načini za smanjenje socio-ekonomske nejednakosti kroz pametne tehnologije. Četvrto, istraživanje mogućnosti saradnje između javnog sektora, privatnog sektora i akademske zajednice može unaprijediti implementaciju vještačke inteligencije u pametnim gradovima. Konačno, evaluacija dugoročnih efekata primjene vještačke inteligencije na urbanu sredinu može identifikovati strategije za dugoročno održivo planiranje i razvoj urbanih prostora. Kroz dalja istraživanja, moguće je prevazići navedena ograničenja i unaprijediti razumijevanje primjene vještačke inteligencije u pametnim gradovima, pružajući smjernice za budući razvoj i implementaciju pametnih tehnologija u urbanoj sredini.

LITERATURA

knjige i članci

1. Abusaada, H., Elshater, A., & Rashed, R. (2023). Exploring the singularity of smart cities in the New Administrative Capital City, Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(9), 102087.
2. Adewopo, V. A., & Elsayed, N. (2024). Smart city transportation: Deep learning ensemble approach for traffic accident detection. *IEEE Access*, 12, 59134-59147.
3. Aghazadeh Ardebili, A., Zappatore, M., Ramadan, A. I. H. A., Longo, A., & Ficarella, A. (2024). Digital Twins of smart energy systems: a systematic literature review on enablers, design, management and computational challenges. *Energy Informatics*, 7(1), 94.
4. Ahmad, K., Maabreh, M., Ghaly, M., Khan, K., Qadir, J., & Al-Fuqaha, A. (2020). Developing future human-centered smart cities: Critical analysis of smart city security, interpretability, and ethical challenges. *arXiv preprint arXiv:2012.09110*.
5. Ahmed, S., Hossain, M. F., Kaiser, M. S., Noor, M. B. T., Mahmud, M., & Chakraborty, C. (2021). Artificial intelligence and machine learning for ensuring security in smart cities. In *Data-Driven Mining, Learning and Analytics for Secured Smart Cities: Trends and Advances* (pp. 23-47). Cham: Springer International Publishing.
6. Ahmad, K., Maabreh, M., Ghaly, M., Khan, K., Qadir, J., & Al-Fuqaha, A. (2022a). Developing future human-centered smart cities: Critical analysis of smart city security, Data management, and Ethical challenges. *Computer Science Review*, 43, 100452.
7. Ahouzi, K., Assyakh, H., Nait Haddou, L., & Messaoudi, A. (2020). Territorial Competitiveness and Smart City: Benchmarking Analysis of Dubai, Abu Dhabi, Riyadh, Cairo, and Rabat. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 44, 13-20.
8. Ahuja, K., & Khosla, A. (2019). Network selection criterion for ubiquitous communication provisioning in smart cities for smart energy system. *Journal of Network and Computer Applications*, 127, 82-91.
9. Ai, G., Zuo, X., Chen, G., & Wu, B. (2022). Deep reinforcement learning based dynamic optimization of bus timetable. *Applied Soft Computing*, 131, 109752.
10. Alashqar, M. M., Abulehia, A. F., Atieh, A. A., Mahmoud, M. M. H., & Alzubi, M. M. S. (2025). Legal Framework for Regulating AI in Smart Cities: Privacy, Surveillance,

- and Ethics. In *2025 International Conference for Artificial Intelligence, Applications, Innovation and Ethics (AI2E)* (pp. 1-6). IEEE.
11. Almalki, F. A., Alsamhi, S. H., Sahal, R., Hassan, J., Hawbani, A., Rajput, N. S., ... & Breslin, J. (2023). Green IoT for eco-friendly and sustainable smart cities: future directions and opportunities. *Mobile Networks and Applications*, 28(1), 178-202.
 12. Altulyan, M., Yao, L., Kanhere, S. S., Wang, X., & Huang, C. (2020). A unified framework for data integrity protection in people-centric smart cities. *Multimedia Tools and Applications*, 79, 4989-5002.
 13. Alzahrani, N. M., & Alfouzan, F. A. (2022). Augmented reality (AR) and cybersecurity for smart cities – A systematic literature review. *Sensors*, 22(7), 2792.
 14. Agarwal, P. K., Gurjar, J., Agarwal, A. K., & Birla, R. (2015). Application of artificial intelligence for development of intelligent transport system in smart cities. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(1), 20-30.
 15. Aggarwal, C. C. (2018). Neural networks and deep learning. *Springer*, 10(978), 3.
 16. Al Sharif, R., & Pokharel, S. (2022). Smart city dimensions and associated risks: Review of literature. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103542.
 17. Alderete, M. V. (2022). Can small cities from developing countries be smart cities. The case of Argentina. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 17(4), 36-51.
 18. Allam, Z., & Dhunny, Z. A. (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities*, 89, 80-91.
 19. Alshahrani, M. M. (2023). A Secure and intelligent software-defined networking framework for future smart cities to prevent DDoS Attack. *Applied Sciences*, 13(17), 9822.
 20. Atitallah, S. B., Driss, M., Boulila, W., & Ghézala, H. B. (2020). Leveraging Deep Learning and IoT big data analytics to support the smart cities development: Review and future directions. *Computer Science Review*, 38, 100303.
 21. Atzori, A., Barra, S., Carta, S., Fenu, G., & Podda, A. S. (2021, March). HEIMDALL: an AI-based infrastructure for traffic monitoring and anomalies detection. In *2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops)* (pp. 154-159). IEEE.
 22. Baghos, M. (2021). *From the Ancient Near East to Christian Byzantium: kings, symbols, and cities*. Cambridge Scholars Publishing.

23. Baclic, O., Tunis, M., Young, K., Doan, C., Swerdfeger, H., Schonfeld, J., ... & Hub, I. (2020). Natural language processing (NLP) a subfield of artificial intelligence. *CCDR*, 46(6), 1-10.
24. Barron, L. (2021). The road to a smarter future: The smart city, connected cars and autonomous mobility. In *2021 26th International Conference on Automation and Computing (ICAC)* (pp. 1-6). IEEE.
25. Batty, M. (2018). Artificial intelligence and smart cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(1), 3-6.
26. Belli, L., Cilfone, A., Davoli, L., Ferrari, G., Adorni, P., Di Nocera, F., ... & Bertolotti, E. (2020). IoT-enabled smart sustainable cities: Challenges and approaches. *Smart Cities*, 3(3), 1039-1071.
27. Benevolo, C., Dameri, R. P., & D'auria, B. (2016). Smart mobility in smart city: Action taxonomy, ICT intensity and public benefits. In *Empowering organizations: Enabling platforms and artefacts* (pp. 13-28). Springer International Publishing.
28. Berglund, E. Z., Monroe, J. G., Ahmed, I., Noghabaei, M., Do, J., Pesantez, J. E., ... & Levis, J. (2020). Smart infrastructure: a vision for the role of the civil engineering profession in smart cities. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(2), 03120001.
29. Bhushan, B., Khamparia, A., Sagayam, K. M., Sharma, S. K., Ahad, M. A., & Debnath, N. C. (2020). Blockchain for smart cities: A review of architectures, integration trends and future research directions. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102360.
30. Bibri, S. E. (2020). *Advances in the leading paradigms of urbanism and their amalgamation: compact cities, eco-cities, and data-driven smart cities*. Springer Nature.
31. Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2020). The emerging data-driven Smart City and its innovative applied solutions for sustainability: The cases of London and Barcelona. *Energy Informatics*, 3, 1-42.
32. Bohr, A., & Memarzadeh, K. (2020). The rise of artificial intelligence in healthcare applications. In *Artificial Intelligence in healthcare* (pp. 25-60). Academic Press.
33. Bertsekas, D. (2019). *Reinforcement learning and optimal control*. Athena Scientific.
34. Bilal, M., Usmani, R. S. A., Tayyab, M., Mahmoud, A. A., Abdalla, R. M., Marjani, M., ... & Targio Hashem, I. A. (2020). Smart cities data: Framework, applications, and challenges. *Handbook of smart cities*, 1-29.
35. Bokhari, S. A. A., & Myeong, S. (2022). Use of artificial intelligence in smart cities for smart decision-making: A social innovation perspective. *Sustainability*, 14(2), 620.

36. Boukabous, M., & Azizi, M. (2023). Image and video-based crime prediction using object detection and deep learning. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(3), 1630-1638.
37. Breslow, H. (2021). The smart city and the containment of informality: The case of Dubai. *Urban Studies*, 58(3), 471-486.
38. Broccardo, L., Culasso, F., & Mauro, S. G. (2019). Smart city governance: exploring the institutional work of multiple actors towards collaboration. *International Journal of Public Sector Management*, 32(4), 367-387.
39. Butt, U. M., Letchmunan, S., Hassan, F. H., Ali, M., Baqir, A., Koh, T. W., & Sherazi, H. H. R. (2021). Spatio-temporal crime predictions by leveraging artificial intelligence for citizens security in smart cities. *IEEE Access*, 9, 47516-47529.
40. Cacciatore, G., Fiandrino, C., Kliazovich, D., Granelli, F., & Bouvry, P. (2017). Cost analysis of smart lighting solutions for smart cities. In *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1-6). IEEE.
41. Campbell, T. (2013). *Beyond smart cities: how cities network, learn and innovate*. Routledge.
42. Chang, V. (2021). An ethical framework for big data and smart cities. *Technological Forecasting and Social Change*, 165, 120559.
43. Channi, H. K., & Kumar, R. (2021). The role of smart sensors in smart city. In *Smart Sensor Networks: Analytics, Sharing and Control* (pp. 27-48). Cham: Springer International Publishing.
44. Chen, Z., Sivaparthipan, C. B., & Muthu, B. (2022). IoT based smart and intelligent smart city energy optimization. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 49, 101724.
45. Chen, J., Ramanathan, L., & Alazab, M. (2021). Holistic big data integrated artificial intelligent modeling to improve privacy and security in data management of smart cities. *Microprocessors and Microsystems*, 81, 103722.
46. Chilipirea, C., Petre, A. C., Groza, L. M., Dobre, C., & Pop, F. (2017). An integrated architecture for future studies in data processing for smart cities. *Microprocessors and Microsystems*, 52, 335-342.
47. Chougrani, E. H., & Battioui, A. (2020). Urban transport services digitalization in Morocco a case study of Marrakesh city. In *Правовые аспекты цифровизации международного транспорта и логистики* (pp. 14-22).

48. Chowdhary, K., & Chowdhary, K. R. (2020). Natural language processing. *Fundamentals of artificial intelligence*, 603-649.
49. Chu, Z., Cheng, M., & Yu, N. N. (2021). A smart city is a less polluted city. *Technological Forecasting and Social Change*, 172, 121037.
50. Chui, K. T., Lytras, M. D., & Visvizi, A. (2018). Energy sustainability in smart cities: Artificial intelligence, smart monitoring, and optimization of energy consumption. *Energies*, 11(11), 2869.
51. Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12(2), 492.
52. Colding, J., Wallhagen, M., Sörqvist, P., Marcus, L., Hillman, K., Samuelsson, K., & Barthel, S. (2020). Applying a systems perspective on the notion of the smart city. *Smart Cities*, 3(2), 420-429.
53. Cortes, A. L. L., & Silva, C. F. (2021). Artificial intelligence models for crime prediction in urban spaces. *Machine Learning and Applications: An International Journal (MLAIJ) Vol, 8*.
54. Cugurullo, F. (2020). Urban artificial intelligence: From automation to autonomy in the smart city. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2, 38.
55. Dada, M. A., Majemite, M. T., Obaigbena, A., Daraojimba, O. H., Oliha, J. S., & Nwokediegwu, Z. Q. S. (2024). Review of smart water management: IoT and AI in water and wastewater treatment. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 1373-1382.
56. Das, S., Dey, A., Pal, A., & Roy, N. (2015). Applications of artificial intelligence in machine learning: review and prospect. *International Journal of Computer Applications*, 115(9).
57. Das, R. (2024). Smart Urban Water Management: Integrating AI and IoT for Optimization and Waste Reduction. *Optimality*, 1(2), 309-317.
58. Dash, B., & Sharma, P. (2022). Role of artificial intelligence in smart cities for information gathering and dissemination (a review). *Academic Journal of Research and Scientific Publishing*, 4(39).
59. de Oliveira, A. (2022). Urban morphology. Springer International Publishing.
60. De Paz, J. F., Bajo, J., Rodríguez, S., Villarrubia, G., & Corchado, J. M. (2016). Intelligent system for lighting control in smart cities. *Information Sciences*, 372, 241-255.

61. Desdemoustier, J., Crutzen, N., Cools, M., & Teller, J. (2019). Smart City appropriation by local actors: An instrument in the making. *Cities*, 92, 175-186.
62. Devailly, F.-X., Larocque, D., & Charlin, L. (2020). *IG-RL: Inductive Graph Reinforcement Learning for Massive-Scale Traffic Signal Control*. arXiv preprint arXiv:2003.05738.
63. Di Virgilio, M. M., & Serrati, P. (2022). Smart Cities, Digital Divide, and Space. Evidence from the Case of the Greater Buenos Aires Agglomerate. *Territorios*, (47), 1.
64. Ding, Z., Huang, Y., Yuan, H., & Dong, H. (2020). Introduction to reinforcement learning. *Deep reinforcement learning: fundamentals, research and applications*, 47-123.
65. Dizon, E., & Pranggono, B. (2022). Smart streetlights in Smart City: a case study of Sheffield. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-16.
66. Doulos, L. T., Sioutis, I., Kontaxis, P., Zissis, G., & Faidas, K. (2019). A decision support system for assessment of street lighting tenders based on energy performance indicators and environmental criteria: Overview, methodology and case study. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101759.
67. Du, M., Zhang, X., & Mora, L. (2022). Strategic planning for smart city development: assessing spatial inequalities in the basic service provision of metropolitan cities. In *Sustainable Smart City Transitions* (pp. 113-132). Routledge.
68. Erkek, S. (2023). Citizen Participation in A Smart City: The Seoul Case. *Kent Akademisi*, 16(4), 2595-2610.
69. Estrada, E., Martinez Vargas, M. P., Gómez, J., Peña Pérez Negron, A., López, G. L., & Maciel, R. (2019). Smart cities big data algorithms for sensors location. *Applied Sciences*, 9(19), 4196.
70. Fang, W., Ding, L., Love, P. E., Luo, H., Li, H., Pena-Mora, F., ... & Zhou, C. (2020). Computer vision applications in construction safety assurance. *Automation in Construction*, 110, 103013.
71. Fataar, R. (2020). Unpacking smart city development in Cape Town and Johannesburg. *Smart cities paper series: Smart governance in South African cities, South African Cities Network*, 29-36.
72. Finlay, J. (2020). *An introduction to artificial intelligence*. Crc Press.
73. Gagliardi, G., Lupia, M., Cario, G., Tedesco, F., Cicchello Gaccio, F., Lo Scudo, F., & Casavola, A. (2020). Advanced adaptive street lighting systems for smart cities. *Smart Cities*, 3(4), 1495-1512.

74. Gao, J., Shen, Y., Liu, J., Ito, M., & Shiratori, N. (2017). *Adaptive Traffic Signal Control: Deep Reinforcement Learning Algorithm with Experience Replay and Target Network*. arXiv preprint arXiv:1705.02755.
75. Garces-Jimenez, A., Castillo-Sequera, J. L., Del Corte-Valiente, A., Gómez-Pulido, J. M., & González-Seco, E. P. D. (2019). Analysis of artificial neural network architectures for modeling smart lighting systems for energy savings. *IEEE Access*, 7, 119881-119891.
76. Ghahremannezhad, H., Shi, H., & Liu, C. (2022). Real-time accident detection in traffic surveillance using deep learning. In *2022 IEEE international conference on imaging systems and techniques (IST)* (pp. 1-6). IEEE.
77. Ghazal, T. M., Hasan, M. K., Alshurideh, M. T., Alzoubi, H. M., Ahmad, M., Akbar, S. S., ... & Akour, I. A. (2021). IoT for smart cities: Machine learning approaches in smart healthcare – A review. *Future Internet*, 13(8), 218.
78. Ghorbani, E., Fluechter, T., Calvet, L., Ammouriova, M., Panadero, J., & Juan, A. A. (2023). Optimizing Energy Consumption in Smart Cities' Mobility: Electric Vehicles, Algorithms, and Collaborative Economy. *Energies*, 16(3), 1268.
79. Gohari, S., Baer, D., Nielsen, B. F., Gilcher, E., & Situmorang, W. Z. (2020). Prevailing approaches and practices of citizen participation in smart city projects: Lessons from Trondheim, Norway. *Infrastructures*, 5(4), 36.
80. Gokhale, G., Van Gompel, J., Claessens, B., & Develder, C. (2023, November). Transfer learning in transformer-based demand forecasting for home energy management system. In *Proceedings of the 10th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation* (pp. 458-462).
81. Golubchikov, O., & Thornbush, M. (2020). Artificial intelligence and robotics in smart city strategies and planned smart development. *Smart Cities*, 3(4).
82. Graziano, T., & Privitera, D. (2020). Cultural heritage, tourist attractiveness and augmented reality: insights from Italy. *Journal of Heritage Tourism*, 15(6), 666-679.
83. Gugler, P., Alburai, M., & Stalder, L. (2021). Smart City Strategy of Dubai. *Harvard Business School: Boston, MA, USA*, 27.
84. Guo, Y., Tang, Z., & Guo, J. (2020). Could a smart city ameliorate urban traffic congestion? A quasi-natural experiment based on a smart city pilot program in China. *Sustainability*, 12(6), 2291.

85. Guo, Q., Wang, Y., & Dong, X. (2022). Effects of smart city construction on energy saving and CO₂ emission reduction: Evidence from China. *Applied Energy*, 313, 118879.
86. Gupta, A., Panagiotopoulos, P., & Bowen, F. (2020). An orchestration approach to smart city data ecosystems. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119929.
87. Gupta, M., & Gupta, H. (2024). Sustainable urban development of smart cities in India- a systematic literature review. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 12.
88. Hadjidemetriou, L., Stylianidis, N., Englezos, D., Papadopoulos, P., Eliades, D., Timotheou, S., ... & Panayiotou, C. (2023). A digital twin architecture for real-time and offline high granularity analysis in smart buildings. *Sustainable Cities and Society*, 98, 104795.
89. Haleboua, G. (2020). *Smart cities*. MIT press.
90. Han, M. J. N., & Kim, M. J. (2021). A critical review of the smart city in relation to citizen adoption towards sustainable smart living. *Habitat International*, 108, 102312.
91. Hancke, G. P., & Hancke Jr, G. P. (2013). The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1), 393-425.
92. Hardi, R., & Gohwong, S. (2020). E-government based urban governance on the smart city program in makassar, Indonesia. *Journal of Contemporary Governance and Public Policy*, 1(1), 12-17.
93. Haarstad, H. (2017). Constructing the sustainable city: Examining the role of sustainability in the 'smart city' discourse. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 19(4), 423-437.
94. Herath, H. M. K. K. M. B., & Mittal, M. (2022). Adoption of artificial intelligence in smart cities: A comprehensive review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(1), 100076.
95. Herrmann, L., & Kollmannsberger, S. (2024). Deep learning in computational mechanics: a review. *Computational Mechanics*, 1-51.
96. Hořejší, P., Novikov, K., & Šimon, M. (2020). A smart factory in a Smart City: virtual and augmented reality in a Smart assembly line. *IEEE Access*, 8, 94330-94340.
97. Hu, Q., & Zheng, Y. (2021). Smart city initiatives: A comparative study of American and Chinese cities. *Journal of Urban Affairs*, 43(4), 504-525.

98. Huda, N. U., Ahmed, I., Adnan, M., Ali, M., & Naeem, F. (2024). Experts and intelligent systems for smart homes' Transformation to Sustainable Smart Cities: A comprehensive review. *Expert Systems with Applications*, 238, 122380.
99. Huh, J. H., Choi, J. H., & Seo, K. (2021). Smart trash bin model design and future for smart city. *Applied sciences*, 11(11), 4810.
100. Hunter, M., Soro, A., & Brown, R. (2021). Enhancing urban conversations for smarter cities: Augmented reality as an enabler of digital civic participation. *Interaction Design and Architecture (s)*, 48, 75-99.
101. Irazábal, C., & Jirón, P. (2021). Latin American smart cities: Between worlding infatuation and crawling provincialising. *Urban Studies*, 58(3), 507-534.
102. Iskandaryan, D., Ramos, F., & Trilles, S. (2020). Air quality prediction in smart cities using machine learning technologies based on sensor data: a review. *Applied Sciences*, 10(7), 2401.
103. Ismagilova, E., Hughes, L., Rana, N. P., & Dwivedi, Y. K. (2020). Security, privacy and risks within smart cities: Literature review and development of a smart city interaction framework. *Information Systems Frontiers*, 1-22.
104. Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695.
105. Ji, T., Chen, J. H., Wei, H. H., & Su, Y. C. (2021). Towards people-centric smart city development: Investigating the citizens' preferences and perceptions about smart-city services in Taiwan. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102691.
106. Jiang, Y., Li, X., Luo, H., Yin, S., & Kaynak, O. (2022). Quo vadis artificial intelligence?. *Discover Artificial Intelligence*, 2(1), 4.
107. Joo, Y. M. (2023). Developmentalist smart cities? The cases of Singapore and Seoul. *International Journal of Urban Sciences*, 27(sup1), 164-182.
108. Jordan, S. (2024). Writing the smart city:" relational space" and the concept of" belonging". *Writing in Practice: Journal of Creative Writing Research*, 1.
109. Just, J. (2024). Natural language processing for innovation search—Reviewing an emerging non-human innovation intermediary. *Technovation*, 129, 102883.
110. Kaluarachchi, Y. (2022). Implementing data-driven smart city applications for future cities. *Smart Cities*, 5(2), 455-474.
111. Kalenyuk, I., Bohun, M., & Djakona, V. (2023). Investing in intelligent smart city technologies. *Baltic Journal of Economic Studies*, 9(3), 41-48.

112. Karamitsos, I., & Apostolopoulos, C. (2018). Optical trends in data centers architectures for smart cities. *International Journal of Information Technology*, 10(1), 3-9.
113. Kaur, D., Islam, S. N., Mahmud, M. A., Haque, M. E., & Dong, Z. (2020). Energy forecasting in smart grid systems: A review of the state-of-the-art techniques. *arXiv preprint arXiv:2011.12598*.
114. Kaur, M., & Saini, M. (2024). Role of Artificial Intelligence in the crime prediction and pattern analysis studies published over the last decade: a scientometric analysis. *Artificial Intelligence Review*, 57(8), 202.
115. Ko, H., Bae, K., Kim, S. H., & An, K. J. (2014). A study on the security algorithm for contexts in smart Cities. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(6), 102051.
116. König, P. D. (2021). Citizen-centered data governance in the smart city: From ethics to accountability. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103308.
117. Krishan, T. T., Alkhaldeh, R. S., Al-Hadid, I., Azawi, R. A., & Al-Sharaeh, S. H. (2020). An impact of smart traffic sensing on strategic planning for sustainable smart cities. In *Sustainable Development and Social Responsibility – Volume 2: Proceedings of the 2nd American University in the Emirates International Research Conference, AUEIRC'18 – Dubai, UAE 2018* (pp. 25-31). Springer International Publishing.
118. Kuguoglu, B. K., van der Voort, H., & Janssen, M. (2021). The giant leap for smart cities: scaling up smart city artificial intelligence of things (AIOT) initiatives. *Sustainability*, 13(21), 12295.
119. Kumar, H., Singh, M. K., Gupta, M. P., & Madaan, J. (2020). Moving towards smart cities: Solutions that lead to the Smart City Transformation Framework. *Technological forecasting and social change*, 153, 119281.
120. Kyba, C. C. M., Ruby, A., Kuechly, H. U., Kinzey, B., Miller, N., Sanders, J., ... & Espey, B. (2021). Direct measurement of the contribution of street lighting to satellite observations of nighttime light emissions from urban areas. *Lighting Research & Technology*, 53(3), 189-211.
121. Lai, C. S., Jia, Y., Dong, Z., Wang, D., Tao, Y., Lai, Q. H., ... & Lai, L. L. (2020). A review of technical standards for smart cities. *Clean Technologies*, 2(3), 290-310.

122. Le, V. D. (2023). Spatiotemporal graph convolutional recurrent neural network model for citywide air pollution forecasting. *arXiv preprint arXiv:2304.12630*.
123. Lee, W. H., & Chiu, C. Y. (2020). Design and implementation of a smart traffic signal control system for smart city applications. *Sensors*, 20(2), 508.
124. Li, Z., Shahidehpour, M., Bahramirad, S., & Khodaei, A. (2016). Optimizing traffic signal settings in smart cities. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(5), 2382-2393.
125. Li, X., & Shi, Y. (2018). Computer vision imaging based on artificial intelligence. In 2018 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS) (pp. 22-25). IEEE.
126. Li, W., Batty, M., & Goodchild, M. F. (2020). Real-time GIS for smart cities. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(2), 311-324.
127. Li, X., Cheng, S., Lv, Z., Song, H., Jia, T., & Lu, N. (2020). Data analytics of urban fabric metrics for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 107, 871-882.
128. Lim, J., Shin, G., & Shin, D. (2024). Fast detection and classification of microplastics below 10 μm using CNN with Raman spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 96(17), 6819-6825.
129. Liu, Y., Luo, G., Yuan, Q., Li, J., Jin, L., Chen, B., & Pan, R. (2023). GPLight: Grouped Multi-agent Reinforcement Learning for Large-scale Traffic Signal Control. *Proceedings of the 32nd International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 199–207.
130. Luckey, D., Fritz, H., Legatiuk, D., Dragos, K., & Smarsly, K. (2021). Artificial intelligence techniques for smart city applications. In *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering: ICCCBE 2020* (pp. 3-15). Springer International Publishing.
131. Luusua, A., Ylipulli, J., Foth, M., & Aurigi, A. (2023). Urban AI: understanding the emerging role of artificial intelligence in smart cities. *AI & society*, 38(3), 1039-1044.
132. Ma, Y., Wang, Z., Yang, H., & Yang, L. (2020a). Artificial intelligence applications in the development of autonomous vehicles: A survey. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7(2), 315-329.

133. Ma, Y., Ping, K., Wu, C., Chen, L., Shi, H., & Chong, D. (2020b). Artificial Intelligence powered Internet of Things and smart public service. *Library Hi Tech*, 38(1), 165-179.
134. Mahor, V., Bijrothiya, S., Mishra, R., Rawat, R., & Soni, A. (2022). The Smart City Based on AI and Infrastructure: A New Mobility Concepts and Realities. *Autonomous Vehicles Volume 1: Using Machine Intelligence*, 277-295.
135. Mann, M., Mitchell, P., Foth, M., & Anastasiu, I. (2020). # BlockSidewalk to Barcelona: Technological sovereignty and the social license to operate smart cities. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 71(9), 1103-1115.
136. Mancebo, F. (2020). Smart city strategies: Time to involve people. Comparing Amsterdam, Barcelona and Paris. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 13(2), 133-152.
137. Mark, R., & Anya, G. (2019). Ethics of using smart city AI and big data: The case of four large European cities. *The ORBIT Journal*, 2(2), 1-36.
138. Martinus, M. (2022). Smart city and privacy concerns during COVID-19: lessons from Singapore, Malaysia, and Indonesia. In *Smart Cities in Asia: Regulations, Problems, and Development* (pp. 33-47). Singapore: Springer Nature Singapore.
139. Mehmood, A., Tahir, M. A., Arshad, H. S. H., Atif, S., Hussain, E., Mcardle, G., & Bertolotto, M. (2023). An Evaluation of Existing Models of Smart Cities Development Around the World. *open science index 17 2023*, 6, 82.
140. Mhlanga, D. (2020). Industry 4.0 in finance: the impact of artificial intelligence (ai) on digital financial inclusion. *International Journal of Financial Studies*, 8(3), 45.
141. Miah, M. S. U., Sulaiman, J., Islam, M. I., Masuduzzaman, M., Lipu, M. S. H., & Nugraha, R. (2023). Predicting short term energy demand in smart grid: A deep learning approach for integrating renewable energy sources in line with sdgs 7, 9, and 13. *arXiv preprint arXiv:2304.03997*.
142. Mohandas, P., Dhanaraj, J. S. A., & Gao, X. Z. (2019). Artificial neural network based smart and energy efficient street lighting system: A case study for residential area in Hosur. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101499.
143. Mora, H., Peral, J., Ferrandez, A., Gil, D., & Szymanski, J. (2019). Distributed architectures for intensive urban computing: a case study on smart lighting for sustainable cities. *IEEE Access*, 7, 58449-58465.

144. Morales, E. F., & Escalante, H. J. (2022). A brief introduction to supervised, unsupervised, and reinforcement learning. In *Biosignal processing and classification using computational learning and intelligence* (pp. 111-129). Academic Press.
145. Morgan, K., & Webb, B. (2020). Googling the city: in search of the public interest on Toronto's' Smart'waterfront. *Urban Planning*, 5(1), 84-95.
146. Morozov, E., & Bria, F. (2018). Rethinking the smart city. *Democratizing Urban Technology*, 2.
147. Mortaheb, R., & Jankowski, P. (2023). Smart city re-imagined: City planning and GeoAI in the age of big data. *Journal of Urban Management*, 12(1), 4-15.
148. Mukto, M. M., Hasan, M., Al Mahmud, M. M., Haque, I., Ahmed, M. A., Jabid, T., ... & Islam, M. (2024). Design of a real-time crime monitoring system using deep learning techniques. *Intelligent Systems with Applications*, 21, 200311.
149. Murthy, A., Han, D., Jiang, D., & Oliveira, T. (2015, December). Lighting-enabled smart city applications and ecosystems based on the IoT. In *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 757-763). IEEE.
150. Müllner, R., & Riener, A. (2011). An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, 7(2), 147-161.
151. Nafiz, M. S., Das, S. S., Morol, M. K., Al Juabir, A., & Nandi, D. (2023). Convowaste: An automatic waste segregation machine using deep learning. In *2023 3rd International conference on robotics, electrical and signal processing techniques (ICREST)* (pp. 181-186). IEEE.
152. Nassereddine, M., & Khang, A. (2024). Applications of Internet of Things (IoT) in smart cities. In *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy* (pp. 109-136). CRC Press.
153. Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Njoya, E. T., & Karampatzakis, D. (2020). Artificial intelligence, transport and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era. *Sustainability*, 12(7), 2789.
154. Noori, N., Hoppe, T., & de Jong, M. (2020). Classifying pathways for smart city development: Comparing design, governance and implementation in Amsterdam, Barcelona, Dubai, and Abu Dhabi. *Sustainability*, 12(10), 4030.
155. Obringer, R., & Nateghi, R. (2021). What makes a city 'smart' in the Anthropocene? A critical review of smart cities under climate change. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103278.

156. O'Dwyer, E., Pan, I., Acha, S., & Shah, N. (2019). Smart energy systems for sustainable smart cities: Current developments, trends and future directions. *Applied energy*, 237, 581-597.
157. Oladipo, I. D., AbdulRaheem, M., Awotunde, J. B., Bhoi, A. K., Adeniyi, E. A., & Abiodun, M. K. (2021). Machine learning and deep learning algorithms for smart cities: a start-of-the-art review. *IoT and IoE driven smart cities*, 143-162.
158. Pasolini, G., Toppan, P., Zabini, F., De Castro, C., & Andrisano, O. (2019). Design, deployment and evolution of heterogeneous smart public lighting systems. *Applied Sciences*, 9(16), 3281.
159. Pham, Q. V., Liyanage, M., Deepa, N., VVSS, M., Reddy, S., Maddikunta, P. K. R., ... & Hwang, W. J. (2021). Deep learning for intelligent demand response and smart grids: A comprehensive survey. *arXiv preprint arXiv:2101.08013*.
160. Post, C., Heyden, N., Reinartz, A., Foerderer, A., Bruelisauer, S., Linnemann, V., ... & Amann, F. (2022). Possibilities of real time monitoring of micropollutants in wastewater using laser-induced Raman & fluorescence spectroscopy (LIRFS) and artificial intelligence (AI). *Sensors*, 22(13), 4668.
161. Rai, R., Tiwari, M. K., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2021). Machine learning in manufacturing and industry 4.0 applications. *International Journal of Production Research*, 59(16), 4773-4778.
162. Raj, S., Smith, J., & Hayes, E. (2025). Hybrid graph convolutional LSTM model for spatio-temporal air quality transfer learning. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-21.
163. Rajasekar, V., Predić, B., Saracevic, M., Elhoseny, M., Karabasevic, D., Stanujkic, D., & Jayapaul, P. (2022). Enhanced multimodal biometric recognition approach for smart cities based on an optimized fuzzy genetic algorithm. *Scientific Reports*, 12(1), 622.
164. Ramírez-Moreno, M. A., Keshtkar, S., Padilla-Reyes, D. A., Ramos-López, E., García-Martínez, M., Hernández-Luna, M. C., ... & Lozoya-Santos, J. D. J. (2021). Sensors for sustainable smart cities: A review. *Applied Sciences*, 11(17), 8198.
165. Ranchordás, S., & Goanta, C. (2020). The new city regulators: Platform and public values in smart and sharing cities. *Computer law & security review*, 36, 105375.
166. Rani, R., Kashyap, V., & Khurana, M. (2022). Role of IoT-cloud ecosystem in smart cities: review and challenges. *Materials Today: Proceedings*, 49, 2994-2998.

167. Rathore, M. M., Paul, A., Ahmad, A., & Jeon, G. (2020). IoT-based big data: From smart city towards next generation super city planning. In *Securing the Internet of Things: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 1409-1428). IGI Global.
168. Riadh, A. D. (2022). Dubai, the sustainable, smart city. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 7, 3.
169. Rodrigo-Comino, J., Seeling, S., Seeger, M. K., & Ries, J. B. (2023). Light pollution: A review of the scientific literature. *The anthropocene review*, 10(2), 367-392.
170. Ross, A., Banerjee, S., & Chowdhury, A. (2020). Security in smart cities: A brief review of digital forensic schemes for biometric data. *Pattern Recognition Letters*, 138, 346-354.
171. Saad, M. H. M., Hamdan, N. M., & Sarker, M. R. (2021). State of the art of urban smart vertical farming automation system: Advanced topologies, issues and recommendations. *Electronics*, 10(12), 1422.
172. Sah, R. R. (2024). IoT-Enabled AI Solutions for Efficient Smart City Waste Management. *Annals of Process Engineering and Management*, 1(1), 26-32.
173. Sánchez Sutil, F., & Cano-Ortega, A. (2020). Smart public lighting control and measurement system using LoRa network. *Electronics*, 9(1), 124.
174. Sahib, U. (2020). Smart Dubai: sensing Dubai smart city for smart environment management. *Smart environment for smart cities*, 437-489.
175. Scorpio, M., Laffi, R., Masullo, M., Ciampi, G., Rosato, A., Maffei, L., & Sibilio, S. (2020). Virtual reality for smart urban lighting design: Review, applications and opportunities. *Energies*, 13(15), 3809.
176. Şerban, A. C., & Lytras, M. D. (2020). Artificial intelligence for smart renewable energy sector in Europe – smart energy infrastructures for next generation smart cities. *IEEE access*, 8, 77364-77377.
177. Shabestary, S. M. A., & Abdulhai, B. (2022). Adaptive traffic signal control with deep reinforcement learning and high dimensional sensory inputs: Case study and comprehensive sensitivity analyses. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(11), 20021-20035.
178. Shamsuzzoha, A., Nieminen, J., Piya, S., & Rutledge, K. (2021). Smart city for sustainable environment: A comparison of participatory strategies from Helsinki, Singapore and London. *Cities*, 114, 103194.

179. Sharma, R., & Arya, R. (2023). Security threats and measures in the Internet of Things for smart city infrastructure: A state of art. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 34(11), e4571.
180. Singh, D. K., Sobti, R., Jain, A., Malik, P. K., & Le, D. N. (2022a). LoRa based intelligent soil and weather condition monitoring with internet of things for precision agriculture in smart cities. *IET Communications*, 16(5), 604-618.
181. Singh, J., Sajid, M., Gupta, S. K., & Haidri, R. A. (2022b). Artificial Intelligence and Blockchain Technologies for Smart City. *Intelligent Green Technologies for Sustainable Smart Cities*, 317-330.
182. Singh, S., Singh, J., Goyal, S. B., Sehra, S. S., Ali, F., Alkhafaji, M. A., & Singh, R. (2023). A novel framework to avoid traffic congestion and air pollution for sustainable development of smart cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103125.
183. Skandali, C. (2018). Focusing On Energy Saving, Safety and Users' Needs. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, Vol. 2, No. 3., 2018, 2(3), 112-121.
184. Roy, K., Ishmam, A., & Taher, K. A. (2021, July). Demand forecasting in smart grid using long short-term memory. In *2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI)* (pp. 1-5). IEEE.
185. Skar, S. L. G., Pineda-Martos, R., Timpe, A., Pölling, B., Bohn, K., Külvik, M., ... & Junge, R. (2020). Urban agriculture as a keystone contribution towards securing sustainable and healthy development for cities in the future. *Blue-Green Systems*, 2(1), 1-27.
186. Smys, D. S., Basar, D. A., & Wang, D. H. (2020). Artificial neural network based power management for smart street lighting systems. *Journal of Artificial Intelligence and Capsule Networks*, 2(1), 42-52.
187. Souza, J. T. D., Francisco, A. C. D., Piekarski, C. M., & Prado, G. F. D. (2019). Data mining and machine learning to promote smart cities: A systematic review from 2000 to 2018. *Sustainability*, 11(4), 1077.
188. Stübinger, J., & Schneider, L. (2020). Understanding smart city – A data-driven literature review. *Sustainability*, 12(20), 8460.
189. Sulistio, B., & Ahmad, S. (2024). The Effectiveness of Smart Waste Recycling Management Applications. *Journal of Computer Science Application and Engineering (JOSAPEN)*, 2(2), 43-47.

190. Suvarna, M., Büth, L., Hejny, J., Mennenga, M., Li, J., Ng, Y. T., ... & Wang, X. (2020). Smart manufacturing for smart cities – overview, insights, and future directions. *Advanced Intelligent Systems*, 2(10), 2000043.
191. Szeliski, R. (2022). *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Nature.
192. Talebkhah, M., Sali, A., Marjani, M., Gordan, M., Hashim, S. J., & Rokhani, F. Z. (2021). IoT and big data applications in smart cities: recent advances, challenges, and critical issues. *IEEE Access*, 9, 55465-55484.
193. Tan, S. Y., & Taeihagh, A. (2020). Smart city governance in developing countries: A systematic literature review. *sustainability*, 12(3), 899.
194. Tariq, M. A. U. R., Faumatu, A., Hussein, M., Shahid, M. L. U. R., & Muttill, N. (2020). Smart city-ranking of major Australian cities to achieve a smarter future. *Sustainability*, 12(7), 2797.
195. Telo, J. (2023). Smart City Security Threats and Countermeasures in the Context of Emerging Technologies. *International Journal of Intelligent Automation and Computing*, 6(1), 31-45.
196. Teng, M., Li, S., Xing, J., Fan, C., Yang, J., Wang, S., ... & Wang, S. (2023). 72-hour real-time forecasting of ambient PM_{2.5} by hybrid graph deep neural network with aggregated neighborhood spatiotemporal information. *Environment International*, 176, 107971.
197. Therborn, G. (2017). *Cities of power: The urban, the national, the popular, the global*. Verso Books.
198. Toan, N. Q., & Nhu, D. T. (2020). Smart urban governance in smart city. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 869, No. 2, p. 022021). IOP Publishing.
199. Toh, C. K. (2020). Security for smart cities. *IET Smart Cities*, 2(2), 95-104.
200. Toli, A. M., & Murtagh, N. (2020). The concept of sustainability in smart city definitions. *Frontiers in Built Environment*, 6, 77.
201. van Leeuwen, J. R., Penne, E. L., Rabelink, T., Knevel, R., & Teng, Y. O. (2024). Using an artificial intelligence tool incorporating natural language processing to identify patients with a diagnosis of ANCA-associated vasculitis in electronic health records. *Computers in Biology and Medicine*, 168, 107757.

202. Voda, A. I., & Radu, L. D. (2018). Artificial intelligence and the future of smart cities. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 9(2), 110-127.
203. Uçar, Z., Akay, A. E., & Bilici, E. (2020). Towards green smart cities: Importance of Urban forestry and urban vegetation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives*.
204. Ullah, Z., Al-Turjman, F., Mostarda, L., & Gagliardi, R. (2020). Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities. *Computer Communications*, 154, 313-323.
205. Qu, Q., Shen, Y., Yang, M., Zhang, R., & Zhang, H. (2024). Expressway Traffic Incident Detection Using a Deep Learning Approach Based on Spatiotemporal Features with Multilevel Fusion. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 150(6), 04024020.
206. Wang, C. H., Steinfeld, E., Maisel, J. L., & Kang, B. (2021). Is your smart city inclusive? Evaluating proposals from the US Department of Transportation's Smart City Challenge. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103148.
207. Warf, B. (2017). Telecommunications and the changing geographies of knowledge transmission in the late 20th century. In *Economy* (pp. 321-338). Routledge.
208. Weber, F., Zinnen, A., & Kerpen, J. (2023). Development of a machine learning-based method for the analysis of microplastics in environmental samples using μ -Raman spectroscopy. *Microplastics and Nanoplastics*, 3(1), 9.
209. White, G., Cabrera, C., Palade, A., Li, F., & Clarke, S. (2020). WasteNet: Waste classification at the edge for smart bins. *arXiv preprint arXiv:2006.05873*.
210. Wiering, M. A., & Van Otterlo, M. (2012). Reinforcement learning. *Adaptation, learning, and optimization*, 12(3), 729.
211. Wolniak, R., & Grebski, W. (2023). Smart mobility in smart city – Singapore and Tokyo comparison. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization & Management/Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej. Seria Organizacji i Zarzadzanie*, (176).
212. Xu, J., Chen, L., Lv, M., Zhan, C., Chen, S., & Chang, J. (2021). HighAir: A hierarchical graph neural network-based air quality forecasting method. *arXiv preprint arXiv:2101.04264*.

213. Yang, Y. S., Lee, S. H., Chen, G. S., Yang, C. S., Huang, Y. M., & Hou, T. W. (2020). An implementation of high efficient smart street light management system for smart city. *IEEE Access*, 8, 38568-38585.
214. Yeh, H. (2017). The effects of successful ICT-based smart city services: From citizens' perspectives. *Government Information Quarterly*, 34(3), 556-565.
215. Yigitcanlar, T., Desouza, K. C., Butler, L., & Roozkhosh, F. (2020). Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: Insights from a systematic review of the literature. *Energies*, 13(6), 1473.
216. Yigitcanlar, T., Kankanamge, N., & Vella, K. (2022). How are smart city concepts and technologies perceived and utilized? A systematic geo-Twitter analysis of smart cities in Australia. In *Sustainable smart city transitions* (pp. 133-152). Routledge.
217. Ylipulli, J., & Luusua, A. (2020). Smart cities with a Nordic twist? Public sector digitalization in Finnish data-rich cities. *Telematics and Informatics*, 55, 101457.
218. Yoo, Y. (2021). Toward sustainable governance: Strategic analysis of the Smart City Seoul portal in Korea. *Sustainability*, 13(11), 5886.
219. Zamponi, M. E., & Barbierato, E. (2022). The dual role of artificial intelligence in developing smart cities. *Smart Cities*, 5(2), 728-755.
220. Zawieska, J., & Pieriegud, J. (2018). Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation. *Transport policy*, 63, 39-50.
221. Zhai, X., & Shen, Y. (2023). Short-term bus passenger flow prediction based on graph diffusion convolutional recurrent neural network. *Applied Sciences*, 13(8), 4910.
222. Zhang, J., Chen, F., Cui, Z., Guo, Y., & Zhu, Y. (2020). Deep learning architecture for short-term passenger flow forecasting in urban rail transit. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(11), 7004-7014.
223. Zhang, K., Ni, J., Yang, K., Liang, X., Ren, J., & Shen, X. S. (2017). Security and privacy in smart city applications: Challenges and solutions. *IEEE communications magazine*, 55(1), 122-129.
224. Zhang, J., & He, S. (2020). Smart technologies and urban life: A behavioral and social perspective. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102460.
225. Zhang, H., Babar, M., Tariq, M. U., Jan, M. A., Menon, V. G., & Li, X. (2020). SafeCity: Toward safe and secured data management design for IoT-enabled smart city planning. *IEEE Access*, 8, 145256-145267.

226. Zheng, Z., Shafique, M., Luo, X., & Wang, S. (2024). A systematic review towards integrative energy management of smart grids and urban energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 114023.
227. Zygiaris, S. (2013). Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems. *Journal of the knowledge economy*, 4, 217-231.

Internet izvori

1. Intelligent Coordination and Logistics Laboratory. (n.d.) *Surtrac: Real-Time Adaptive Traffic Signal Control For Urban Road Networks*, https://icll.ri.cmu.edu/projects/traffic/?utm_source, pristupljeno: jun 2025.
2. Rogerson, S. (2024). *Singapore plans district-level smart grid*, https://www.iotm2mcouncil.org/iot-library/news/smart-energy-news/singapore-plans-district-level-smart-grid/?utm_source, pristupljeno: jun 2025.
3. University Transportation Centers Program. (2018). *Surtrac for the People: Upgrading the Surtrac Pittsburgh Deployment to Incorporate Pedestrian Friendly Extensions and Remote Monitoring Advances*, <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/utc/323431/utcnewsletter128november.pdf>, pristupljeno: jun 2025.

Izjava o istovjetnosti štampane i elektronske verzije master rada

Ime i prezime autora: Fuad Hodžić

Broj indeksa/upisa: 31/22

Studijski program: Studije primijenjenog računarstva

Naslov rada: Transformacija urbanih prostora: vještačka inteligencija u pametnim gradovima

Mentor: Prof. dr Nikola Žarić

Potpisani: **Fuad Hodžić**

Izjavljujem

da je štampana verzija mog master rada istovjetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore.

Istovremeno izjavljujem da dozvoljavam objavljivanje mojih ličnih podataka u vezi sa dobijanjem akademskog naziva master nauka, kao što su ime i prezime, godina i mjesto rođenja, naslov master rada i datum odbrane rada.

U Podgorici, 25.11.2025. godine

Potpis magistranda

Fuad Hodžić

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku da u Digitalnom arhivu Univerziteta Crne Gore pohrani moj master rad pod nazivom:

"Transformacija urbanih prostora: vještačka inteligencija u pametnim gradovima"

koji je moje autorsko djelo.

Master rad sa svim prilogima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moj master rad pohranjen u Digitalnom arhivu Univerziteta Crne Gore mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (*Creative Commons*) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poleđini lista).

U Podgorici, 25.11.2025. godine

Potpis magistranda

Šved Hodžić

1. Autorstvo - Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo - nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.
- ③. Autorstvo - nekomercijalno - bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, bez promjena, preoblikovanja ili upotrebe djela u svom djelu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja djela.
4. Autorstvo - nekomercijalno - dijeliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela i prerade.
5. Autorstvo - bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, bez promjena, preoblikovanja ili upotrebe djela u svom djelu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.

Autorstvo - dijeliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda