

UMJETNA INTELIGENCIJA U PAMETNIM GRADOVIMA

Dominiković, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of economics Split / Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:124:375716>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-13**

Repository / Repozitorij:

[REFST - Repository of Economics faculty in Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
EKONOMSKI FAKULTET**

DIPLOMSKI RAD

**UMJETNA INTELIGENCIJA U PAMETNIM
GRADOVIMA**

Mentor:

izv. prof. dr.sc. Maja Ćukušić

Student:

Ivana Dominiković, 2180537

Split, rujan 2020.

SADRŽAJ:

1. UVOD	3
1.1. Problem istraživanja	3
1.2. Predmet istraživanja	5
1.3. Istraživačka pitanja	5
1.4. Cilj istraživanja.....	5
1.5. Metode istraživanja	6
1.6. Doprinos istraživanja	7
1.7. Struktura rada	7
2. ISTRAŽIVANJE LITERATURE.....	9
2.1. Proces istraživanja.....	9
2.2. Selektirani uzorak.....	14
3. SHEMA ISTRAŽIVANJA I KLASITER REFERENCI	17
4. KATEGORIJE ISTRAŽIVANJA UMJETNE INTELIGENCIJE U PAMETNIM GRADOVIMA.....	22
4.1. Uloga umjetne inteligencije u pametnim gradovima.....	22
4.1.1. Očuvanje etičkih aspekata	22
4.1.2. Sigurnost	22
4.1.3. Upravljanje podacima	23
4.1.4. Ostalo	24
4.2. Primjena umjetne inteligencije u pametnim gradovima.....	24
4.2.1. Promet.....	24
4.2.2. Okoliš	26
4.2.3. Nadzor	27
4.2.4. Energetika.....	28
4.2.5. Pametna kuća	29

4.2.6. Zdravstvo	30
4.2.7. Obrazovanje	30
4.2.8. Ostalo	31
4.3. Izazovi i prepreke umjetne inteligencije u pametnim gradovima	32
4.3.1. Sigurnost	32
4.3.2. Etika	33
5. PREPORUKE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA	34
6. ZAKLJUČAK.....	36
Popis grafova	38
Popis tablica	38
Popis slika.....	38
Popis literature uvrštene u sustavni pregled.....	39
Ostala literatura	47
SAŽETAK.....	49
SUMMARY.....	50

1. UVOD

1.1. Problem istraživanja

Unatrag nekoliko godina često se, u literaturi, na različitim konferencijama ili u svakodnevnom razgovoru, pojavljuje pojam 'pametni grad' što nam daje naslutiti da je to pojam od velike važnosti za različite interesne skupine, a opet, nemoguće ga je jednoznačno definirati. Ne postoji niti jedna službena definicija pametnog grada koja bi se mogla navesti prilikom prvog upoznavanja zainteresirane javnosti s ovim pojmom, već se često navodi više definicija koje prikazuju različite aspekte i funkcije pametnog grada. Sam po sebi pojam je jako kompleksan i uglavnom je težnja na predavačima da prikažu sve njegove dobrobiti na najbolji mogući način. Ipak, u ovom uvodnom dijelu prikazat će se nekoliko definicija pametnog grada.

Bakici i suradnici¹ pametni grad definiraju kao „tehnološki intenzivan i napredan grad koji povezuje ljude, informacije i elemente grada koristeći nove tehnologije kako bi se stvorio održiviji i zeleniji grad, konkurentniji i inovativniji trgovina te poboljšala kvaliteta života“.

Prema Kourtitu i Nijkampu² „pametni gradovi rezultat su intenzivnih i kreativnih strategija kojima se nastoji poboljšati društveno-ekonomski, ekološki, logistički i konkurentski učinak gradova. Temelje se na poticajnoj mješavini ljudskog kapitala (npr. kvalificirane radne snage), infrastrukturnog kapitala (npr. visokotehnoloških komunikacijskih objekta), socijalnog kapitala (npr. veze s otvorenom mrežom) i poduzetničkog kapitala (npr. kreativne poslovne aktivnosti koje poduzimaju rizike)“.

Guan³ u svom radu kaže „pametni grad, prema Lokalnoj upravi za održivost (ICLEI), grad je koji je spreman pružiti uvjete za zdravu i sretnu zajednicu pod izazovnim uvjetima koji mogu predstavljati globalni, okolišni, ekonomski i socijalni trendovi“.

Marshal-Llacuna i suradnici⁴ pak tvrde da „inicijative pametnih gradova nastoje poboljšati urbane performanse koristeći podatke, informacije i informacijske tehnologije (IT) kako bi

¹ Bakici, T., Almirall, E., Wareham, J. (2012): A Smart City Initiative: The Case of Barcelona, *Journal of the Knowledge Economy*, 2 (1) str. 1 – 14.

² Kourtit, K., Nijkamp, P. (2012): Smart Cities in the Innovation Age, *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25 (2) str. 93–95.

³ Guan, L. (2012): Smart Steps To A Battery City, *Government News*, 32 (2) str. 24–27.

⁴ Marsal-Llacuna, M.L., Colomer-Llinas, J., Melendez-Frigola, J. (2014): Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative, *Technological Forecasting and Social Change*

građanima pružili efikasnije usluge, nadzirali i optimizirali postojeću infrastrukturu, poboljšali suradnju između različitih gospodarskih sudionika i potaknuli inovativne poslovne modele kako u privatnom, tako i u javnom sektoru“.

Navedene definicije prikazuju kompleksnost ovog koncepta koji da bi bio uspješan traži ne samo angažiranost i kreativnost pojedinaca, već i primjenu tehnologije koja će omogućiti postizanje željenih rezultata. Jedna od takvih tehnologija koja već ima, ali će i ubuduće imati veliku važnost u stvaranju pametnih gradova je umjetna inteligencija.

Prema Europskoj komisiji⁵ „umjetna inteligencija (AI) odnosi se na sustave koji prikazuju inteligentno ponašanje analiziranjem svog okruženja i pokretanjem različitih akcija uz određeni stupanj autonomije radi postizanja specifičnih ciljeva. AI sustavi temelje se isključivo na softveru i djeluju u virtualnom svijetu (npr. glasovni pomoćnici, sustavi za obradu slika, tražilice podataka, sustavi za upravljanjem glasa i prepoznavanja lica), a osim toga mogu biti i ugrađeni u različite uređaje (npr. napredni roboti, autonomni automobili, dronovi ili aplikacije koje se temelje na Internetu stvari)“.

McKinsey Global Institut⁶ predstavlja moguće primjene umjetne inteligencije u društveno – korisnim aktivnostima. Upravljanje krizama, ekonomski razvoj, obrazovni sustav, životno okruženje, jednakost i uključivost, zdravlje i prehrana, ispravnost informacija, kritična infrastruktura, javni sektor i sigurnost i pravosuđe samo su neka od područja koja se mogu poslužiti postignućima umjetne inteligencije kako bi unaprijedili svoje djelovanje.

Porast zainteresiranosti za pametne gradove i umjetnu inteligenciju navela je mnogobrojne istraživače i znanstvenike da daju svoju doprinos pisanjem različitih članaka na navedenu temu što je dovelo do naglog povećanja broja istih. Iako porast broja članaka nudi više mogućnosti i veći izbor materijala za specifično područje, korisnicima je mnogo teže doći do željene literature jer je potrebno mnogo više vremena kako bi se iz velikog broja pronašla ona relevantna. Veliki broj članaka koji se pojavljuju kao rezultat traženja ključnih riječi ni ne govori nužno o traženoj tematici, već se te ključne riječi prikazuju nekoliko puta u cijelom tekstu u kontekstu nekog drugog područja.

⁵ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/definition-artificial-intelligence-main-capabilities-and-scientific-disciplines>, preuzeto 8.6.2020.

⁶ <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/applying-artificial-intelligence-for-social-good>, preuzeto 8.6.2020.

1.2. Predmet istraživanja

Problemi navedeni u prethodnom poglavlju otežavaju i usporavaju rad korisnika te se javlja potreba za olakšavanjem njihova rada i grupiranjem kvalitetnih članaka kako bi na brži način mogli doći do potrebnih materijala. Prema tome, predmet istraživanja u ovom radu su znanstveni članci koji u sebi sadrže ključne riječi 'pametni grad' i 'umjetna inteligencija', a prikupljeni su iz različitih baza koje sadržavaju takve članke. Nakon procesa selekcije, daljnja analiza i grafički prikazi obuhvaćaju samo selektirane članke te se oni uvrštavaju u sustavni pregled literature.

1.3. Istraživačka pitanja

S obzirom na problem i predmet istraživanja koji su opisani u prethodnim odjeljcima definiraju se istraživačka pitanja na koja će ovo istraživanje dati odgovore. Istraživačka pitanja su navedena u nastavku teksta.

1. Koji su relevantni i kvalitetni članci na području umjetne inteligencije u pametnim gradovima?
2. Koja je uloga umjetne inteligencije u pametnim gradovima?
3. Koja su područja primjene umjetne inteligencije u pametnim gradovima?
4. Koji su izazovi i prepreke korištenja umjetne inteligencije u pametnim gradovima?
5. Koje su potrebe budućih istraživanja za bolje razumijevanje povezanosti umjetne inteligencije i pametnih gradova?

1.4. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je prikazati odgovore na navedena istraživačka pitanja. Odnosno, sustavnom metodom istraživanja napraviti selekciju znanstvenih članaka relevantnih za područje istraživanja, analizirati selektirane članke te definirati ulogu, područja primjene, izazove i prepreke umjetne inteligencije u pametnim gradovima. Analizom i definiranjem svih ovih aspekata želi se napraviti okvir za buduća istraživanja koji će istraživačima olakšati izradu svojih radova. Osim okvira, cilj je i predstaviti koje se sve potrebe javljaju za daljnjim istraživanjima.

1.5. Metode istraživanja

Metoda koja se koristi u ovom radu je **sustavna metoda istraživanja**. Kofod – Peterson⁷ sustavni pregled literature definira kao „formalni način sintetizacije dostupnih informacija iz dostupnih primarnih studija relevantnih za skup istraživačkih pitanja. [...] Sustavni pregledi literature razlikuju se od tradicionalnih, nesustavnih istraživanja upotrebom strogog metodološkog okvira s nizom dobro definiranih koraka provedenih u skladu s unaprijed utvrđenim protokolom.“

Palka i suradnici⁸ u svom radu objašnjavaju kako je ovo „metoda integriranja znanstvenih dokaza koja koristi eksplicitne metode identifikacije, odabira, kritičke procjene i analize podataka iz relevantnih studija kvalificiranih za pregled te na ovaj način dopunjava ograničenja tradicionalnih pregleda koji se temelje na nesustavnim i nemetodičkim tehnikama prikupljanja i sastavljanja podataka o istraživanju, omogućujući objektivno predlaganje pouzdanih i vjerodostojnih znanstvenih dokaza.“ Upotreba sustavnih pregleda literature tradicionalno je bila široko rasprostranjena prvenstveno u medicini, a zatim se počela primjenjivati i u ostalim područjima istraživanja.

Standardi za izradu sustavnog pregleda literature predstavljeni u članku autora Webster i Watson⁹ i metoda sustavnog istraživanja opisana od strane autora Wolfswinkel, Furtmueller, Wilderom¹⁰ koriste se kao smjernice za izradu ovog rada. Članak autora Ruhlandt¹¹ poslužio je kao ogledni primjer postupka izrade ovog pregleda literature, a do sad objavljeni pregled literature (Rjab i Mellouli¹²) i sustavni pregledi literature (Rjab i Mellouli¹³; Yigitcanlar, Desouza, Butler i Roozkhosh¹⁴) kao primjeri vezani uz samu tematiku rada.

⁷ Kofod-Petersen, A. (2015): How to do a Structured Literature Review in computer science

⁸ Palka, D., Brodny, J., Rizaoglu, T., Bagci, U., Maščenik, J. (2018): Literature Research in the Field of Technology Assessment Using a Tool of a Systematic Literature Review, Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, 1, str. 109-115.

⁹ Webster, J., Watson, R. T. (2002): Analyzing the past to prepare for the future : Writing a literature review, MIS Quarterly, 26(2), str. 13–23.

¹⁰ Wolfswinkel, J. F., Furtmueller, E., Wilderom, C. P. M. (2013): Using grounded theory as a method for rigorously reviewing literature, European Journal of Information Systems, 22(1), str. 45–55.

¹¹ Ruhlandt, R.W. (2018): The governance of smart cities: A systematic literature review, Cities, 81, str. 1-23.

¹² Rjab, A.B., Mellouli, S. (2018): Smart cities in the era of artificial intelligence and internet of things: literature review from 1990 to 2017, Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age.

¹³ Rjab, A.B., Mellouli, S. (2019): Artificial Intelligence in Smart Cities: Systematic Literature Network Analysis. ICEGOV2019.

¹⁴ 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, 1473

1.6. Doprinos istraživanja

Kofod-Peterson¹⁵ predstavlja dobrobiti koje pruža sustavni pregled literature i kaže: „sustavni pregled literature može prikazati postojeća rješenja prije nego što istraživač pokuša riješiti neko područje; pomaže istraživačima u izbjegavanju pristranosti u svom radu; omogućuje istraživačima da prepoznaju nedostatke u znanju, a ističe područja u kojima su potrebna dodatna istraživanja. Ako se sustavni pregled literature temeljito provodi, dobiva se znanstvena vrijednost, a njihovo objavljivanje donosi koristi zajednici omogućujući izbjegavanje dupliciranja recenzija.“

Konkretno, ovaj rad prikazuje sustavni pregled literature na temu umjetne inteligencije u pametnim gradovima i može poslužiti kao polazna točka za daljnja istraživanja. Korisnici ovog pregleda literature dobit će važne informacije ne samo za svoje istraživačke, već i za praktične radove. Na ovaj način smanjuje se njihovo vrijeme i napori prilikom pretrage relevantne i kvalitetne literature te im se omogućuje brži i lakši proces izrade vlastitog rada.

1.7. Struktura rada

Diplomski rad se sastoji od šest poglavlja.

U prvom poglavlju prikazan je problem i predmet istraživanja, definirana su istraživačka pitanja, naveden je cilj i doprinosi istraživanja te su prikazane metode koje se koriste pri izradi ovog istraživanja.

U drugom poglavlju opisan je proces istraživanja i selekcije znanstvenih članaka korištenjem sustavne metode istraživanja. Također, prikazani su i različiti grafički prikazi koji će pobliže prikazati karakteristike tih članaka.

Treće poglavlje predstavlja shemu istraživanja umjetne inteligencije u pametnim gradovima i klaster referenci.

Četvrto poglavlje prikazuje kategorije proizašle prethodno navedenim istraživanjem. Detaljno su opisani uloga, načini primjene, izazovi i prepreke umjetne inteligencije u pametnim gradovima.

¹⁵ Kofod-Petersen, A., (2015): How to do a Structured Literature Review in computer science

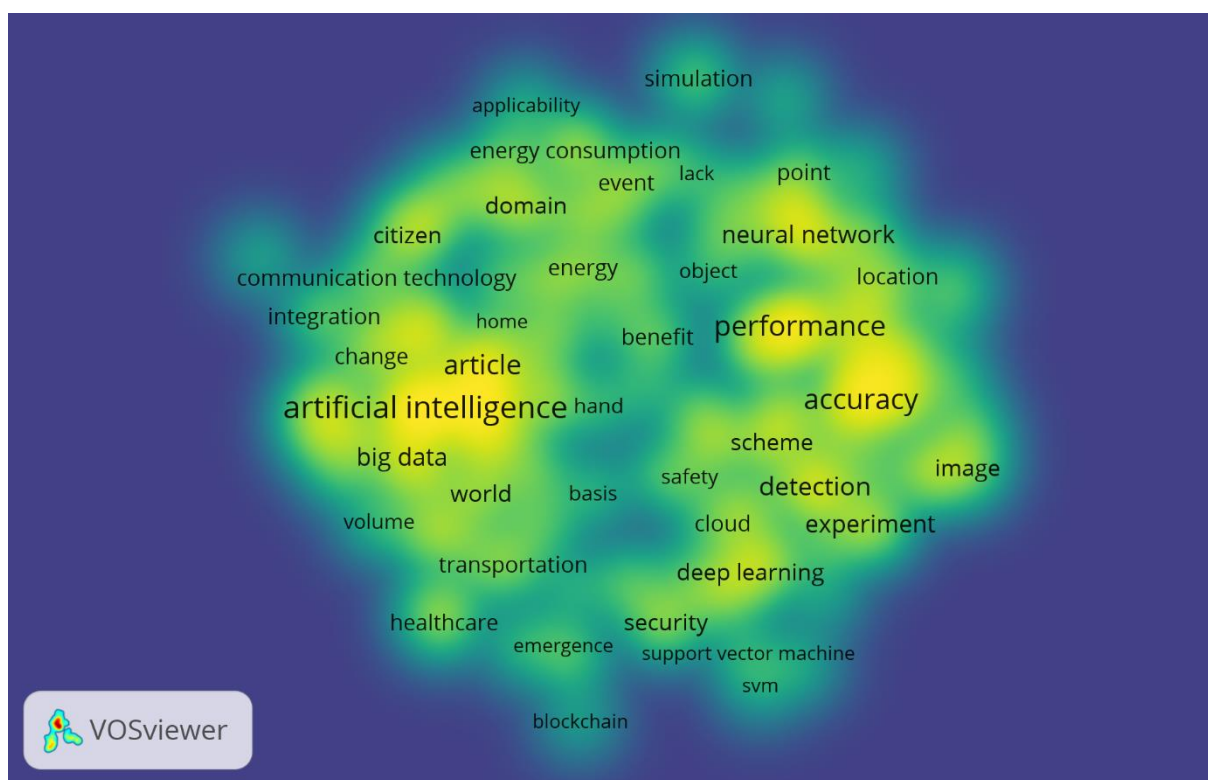
Peto poglavlje donosi stajališta autora o potrebama za budućim istraživanjima.

Šesto, ujedno i zadnje poglavlje donosi zaključna razmatranja o provedenom istraživanju.

Na samom kraju su sažeci na hrvatskom i engleskom jeziku, popis tablica, grafova i slika te popis korištene literature.

općih podataka o znanstvenim člancima zajedno sa sažecima. Na web stranici Vosviewer¹⁸ alat je definiran kao „softversko rješenje za konstruiranje i vizualizaciju bibliometrijskih mreža“. Slika 1 prikazuje 4 klastera od kojih je svaki radi bolje preglednosti označen drugom bojom. Veličina kruga ukazuje na učestalost pojave određenog pojma u skupu podataka, a duljina linije između dvaju pojmova na njihovu povezanost. Tako možemo prema veličini kruga vidjeti da se na primjer pojam umjetna inteligencija često pojavljuje u skupu podataka. Kraća duljina linije između dva pojma označava jaču povezanost što je i očekivano budući da je pojam umjetna inteligencija bliži pojmovima iz svog klastera.

Slika 2 prikazuje učestalost pojavljivanja odnosno gustoću pojmova iz istog skupa podataka. Veća učestalost pojavljivanja označava veću gustoću pojmova. Boje koje prikazuju navedeno kreću se od plave, preko zelene, do žute. Žuta boja predstavlja područja na slici gdje se nalaze pojmovi velike gustoće. Slabljenjem žute boje smanjuje se gustoća. Veličina naziva pojma također ovisi o gustoći istoga – što je veći naziv, to je veća i gustoća.



Slika 2. Gustoća pojavljivanja pojmova u skupu podataka

Od ponuđenih rezultata pretrage po ključnim riječima u *Scopus* i *Web of Science* bazama u obzir su uzeti samo znanstveni članci i to oni koji su pisani na engleskom jeziku budući da je određen broj ponuđenih članaka bio napisan na korejskom, ruskom ili španjolskom jeziku. Takvim

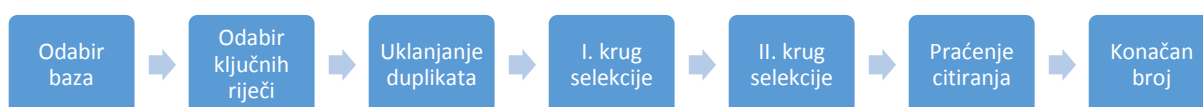
¹⁸ <https://www.vosviewer.com/>

člancima je sažetak pisan na engleskom jeziku zbog čega su zadovoljili kriterije za ključnim riječima i prikazali se u rezultatima. Osim toga, odabrani su samo oni članci na engleskom jeziku koji su izdani u recenziranim znanstvenim časopisima. Znanstveni članci koji su bili zatvorenog pristupa te im nije bilo moguće pristupiti ni na koji način su isključeni iz daljnje analize kao i sustavni pregledi literature te bilo kakvi drugi pregledi literature. Onim znanstvenim člancima koji su se pojavili u obje baze duplicirani članak je isključen iz jedne baze.

Prvim krugom selekcije zadržani su samo oni članci koji su zadovoljili kriterije provjere sažetaka odnosno čiji je sažetak odgovarao tematici istraživanja i koji je u tijelu teksta barem jednom sadržavao obje ključne riječi ili neke njihove potkategorije, metode ili algoritme. Odnosno, zadržani su i svi članci koji u tijelu teksta nisu sadržavali gore navedene ključne riječi, ali su umjesto njih sadržavali ključne riječi kao što su na primjer *smart healthcare* ili *smart transportation system* uz neku od ključnih riječi vezanih uz umjetnu inteligenciju kao što je na primjer *supervised learning*, *reinforcement learning*, itd.

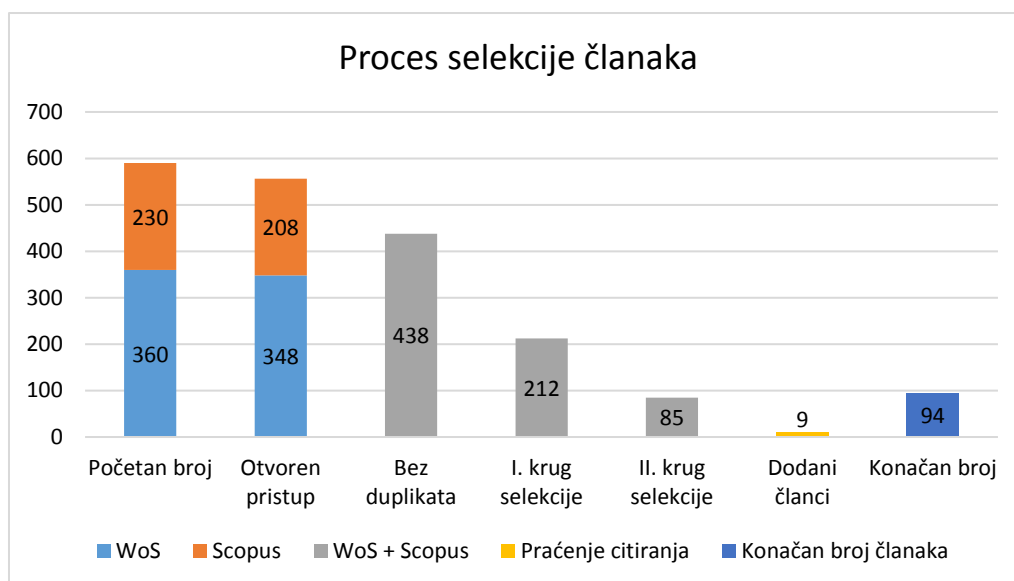
Drugim krugom selekcije eliminirali su se svi lažno pozitivni članci koji su prošli prvi krug selekcije, ali nakon pregleda ostalog teksta i grafičkih prikaza nisu udovoljili kriterijima tematike istraživanja.

Procesom praćenja citiranja unaprijed i unatrag, odnosno traženjem svih članaka koji su citirali neki od već selektiranih članaka ili koji su citirani od autora već selektiranih članaka, uvršteni su dodatni članci u pregled literature koji je ovim zadnjim korakom kompletiran. Takvi dodatni članci su također trebali proći cijeli proces selekcije.



Slika 3. Faze istraživanja literature

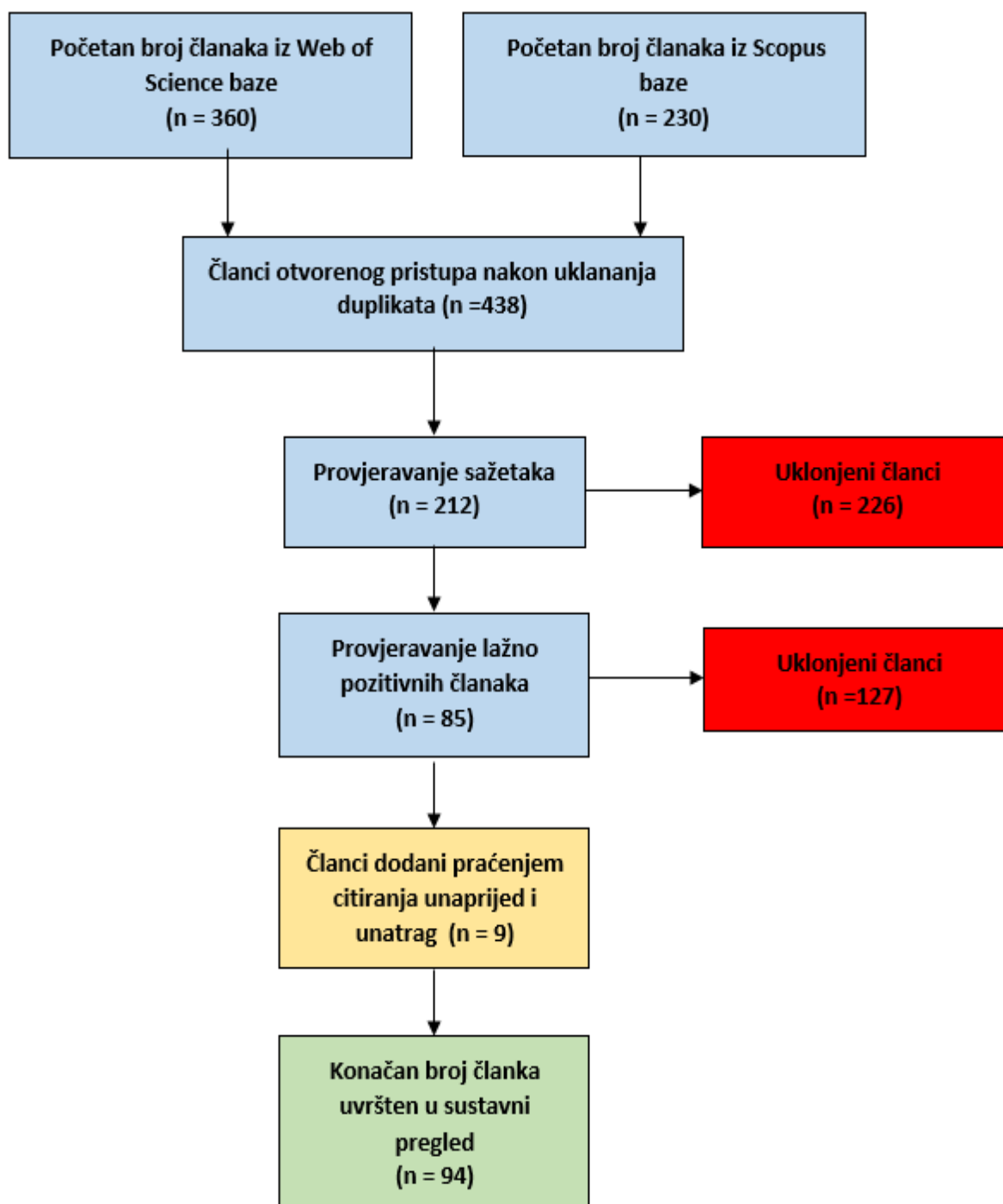
Zbog lakšeg razumijevanja i bolje preglednosti, faze istraživanja literature prikazane su Slikom 3, dok je proces selekcije članaka uz brojčane vrijedosti prikazan Grafičkim prikazom 1. Iako su duplicirani članci uklonjeni iz Scopus baze, kako bi grafički prikaz bio reprezentativan, nakon uklanjanja duplikata članci se u grafu više ne prikazuju brojčano s obzirom na bazu u kojoj se pojavljuju, već su svi članci nadalje grupirani. U slučaju da su članci uklonjeni iz Web of Science baze dobili bi se brojčano različiti rezultati za identičan broj članaka.



Grafički prikaz 1. Proces selekcije članaka

Dodatno, broj odbačenih članaka uz već naveden broj prihvaćenih članaka tijekom provođenja procesa selekcije je prikazan na *Slici 4* čiji je koncept preuzet sa PRISMA¹⁹ stranice.

¹⁹ <http://www.prisma-statement.org/>



Slika 4.. Dijagram toka procesa selekcije članaka

2.2. Selektirani uzorak

Kao što je već navedeno u *Grafičkom prikazu 1* i *Slici 4* konačan broj članaka dobiven sustavnom metodom istraživanja je 94. *Grafički prikaz 2* predstavlja članke prema godini u kojoj su objavljeni u znanstvenom časopisu. Stoga, lako je uočiti da je vremenski raspon objavljenih članaka ovog uzorka tek 5 godina, od 2015. godine do 2020. godine.

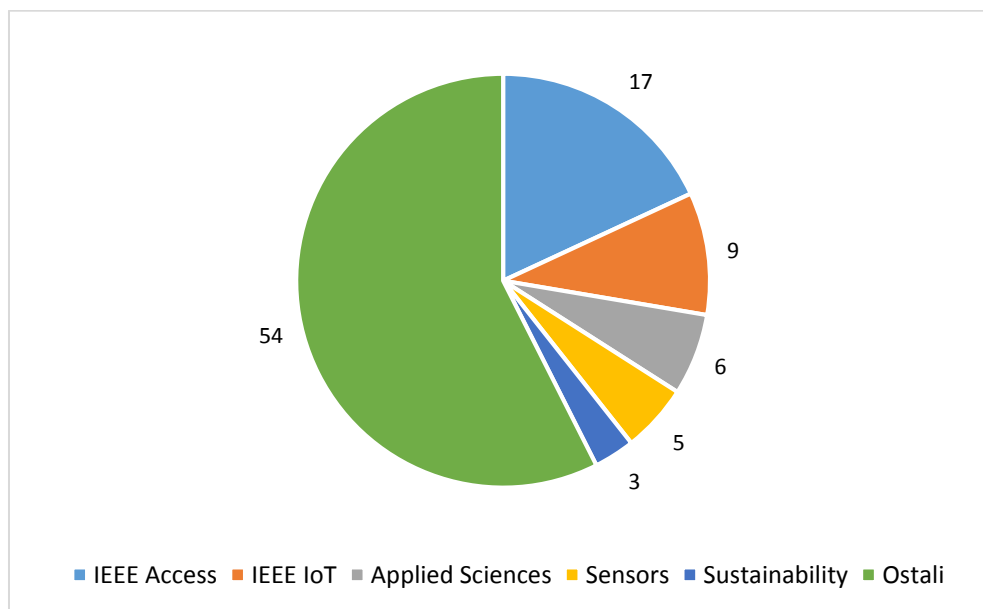


Grafički prikaz 2. Broj članaka po godinama

Iako se pojmovi umjetna inteligencija i pametni grad pojavljuju i mnogo prije te je početna baza članaka sadržavala i starije znanstvene članke na ovu tematiku, ali ne starije od 2012. godine, provođenjem selekcijskog postupka takvi članci nisu zadovoljili već navedene kriterije. Umjetna inteligencija je područje koje, kao i većina drugih tehnoloških područja, ubrzano napreduje, a njihova rješenja starija od nekoliko godina zastarjevaju. Zbog toga su, za razliku od znanstvenih članaka koji su objavljeni prije više godina, mnogo relevantniji oni članci iz novijih publikacija, uz iznimke. Ipak, treba uzeti u obzir da od početka istraživanja i pisanja znanstvenog članka, preko prihvatanja pa sve do objavljivanja istoga u znanstvenom časopisu može proći i više od godinu dana. Stoga, i nova rješenja predstavljena ovim pregledom literature treba uzeti s rezervom ukoliko se radi bilo kakva praktična primjena, s obzirom da uvijek postoji mogućnost da postoji i poboljšana verzija nekog rješenja koje još nije predstavljeno ni u jednom znanstvenom članku.

Iz *Grafičkog prikaza 2* može se uočiti eksponencijalan rast broja objavljenih članaka od 2015. godine do 2019. godine što bi se vrlo vjerojatno nastavilo i u 2020. godini s još većim nagibom krivulje da su u obzir uzeti objavljeni članci do kraja 2020. godine, umjesto kraja lipnja 2020. godine kada je započeo proces istraživanja literature. To potkrepljuje činjenica da je s obzirom na selektirani uzorak, tijekom 2019. godine objavljeno ukupno 39 članaka, odnosno 3,25 članaka mjesečno, dok je u 2020. godini tijekom prvih 6 mjeseci objavljeno ukupno 25 članaka, odnosno 4,17 članaka mjesečno. Rast broja objavljenih članaka po godinama ne predstavlja iznenađenje s obzirom da je umjetna inteligencija disciplina koja se ubrzano razvija čime se javlja i zainteresiranost za provođenjem istraživanja i bilježenjem otkrivenih saznanja na ovakav način.

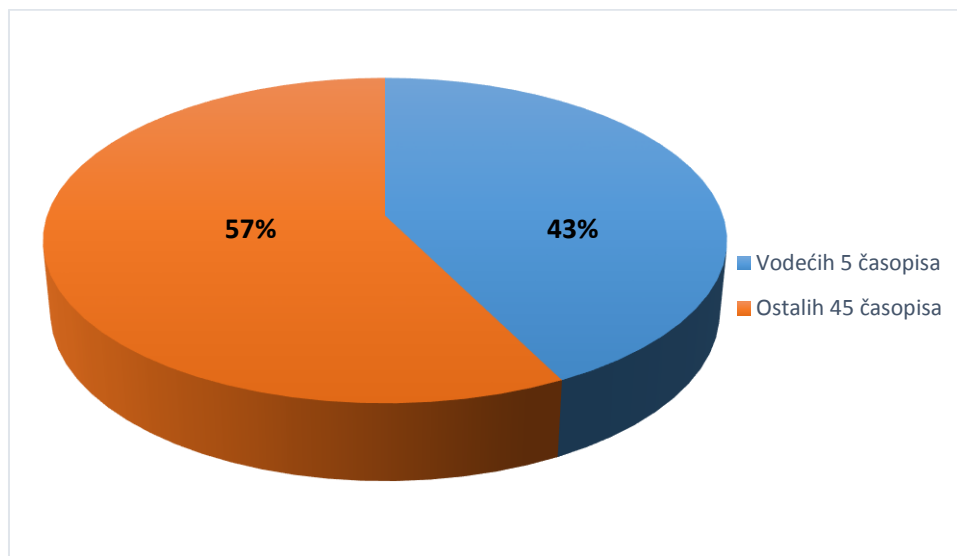
Broj članaka prema znanstvenim časopisima u kojima su objavljeni prikazan je *Grafičkim prikazom 3* iz čega se može vidjeti da je najveći broj članaka iz selektiranog uzorka, njih čak 17, objavljen u časopisu *IEEE Access*. Slijede časopisi *IEEE Internet of Things Journal* sa 9 objavljenih članaka, *Applied Sciences* sa 6 objavljenih članaka, *Sensors* sa 5 objavljenih članaka i *Sustainability* sa 3 objavljena članka. Preostala 54 članaka su objavljena u ostalim časopisima i to uglavnom jedan ili dva članka po časopisu.



Grafički prikaz 3. Broj članaka po znanstvenim časopisima u kojima su objavljeni

Pet vodećih, prethodno navedenih časopisa objavili su ukupno 40 od 94 članka što čini 43% ukupno objavljenih članaka iz uzorka. S druge strane, ostalih 45 časopisa su objavili preostala

54 članka što čini 57% ukupno objavljenih članaka iz uzorka. Navedno prikazuje *Grafički prikaz 4*.



Grafički prikaz 4. Odnos između 5 vodećih i ostalih 45 časopisa prema objavljenim člancima izražen u postotku

Zanimljiva je i činjenica da vodeća dva časopisa IEEE Access i IEEE Internet of Things Journal objavljuje ista izdavačka kuća, IEEE, koja objavljuje i druge časopise čiji su članci uvršteni u ovaj pregled literature. U nastavku slijedi njihov popis zajedno s brojem članaka iz ovog pregleda: IEEE Communications Magazine (1), IEEE Intelligent Informatics Bulletin (1), IEEE Journal on Selected Areas in Communication (1), IEEE Network (2), IEEE Transactions on Computers (1), IEEE Transactions on Green Communications and Networking (1), IEEE Transactions on Industrial Informatics (2). S obzirom na to možemo reći da je izdavač IEEE objavio 35 od 94 članaka iz uzorka, odnosno više od trećine članaka (37%).

3. SHEMA ISTRAŽIVANJA I KLASITER REFERENCI

Zbog raznolikosti sadržaja članaka iz uzorka koji istražuju različite aspekte povezanosti umjetne inteligencije i pametnih gradova i u cilju bolje preglednosti sadržaja napravljena je shema istraživanja (Slika 5) po uzoru na istraživanja već objavljenih pregleda literatura autora Rjab i Mellouli²⁰ (2018) i Rjab i Mellouli²¹ (2019).

Kategorije koje sadržava ova shema istraživanja su *Uloga*, *Primjena* i *Izazovi i prepreke*. Svaka od ovih kategorija odnosi se na umjetnu inteligenciju u pametnim gradovima odnosno ulogu umjetne inteligencije u pametnim gradovima, primjenu umjetne inteligencije u pametnim gradovima i izazove i prepreke koji se mogu pojaviti primjenom umjetne inteligencije u pametnim gradovima.



Slika 5. Shema istraživanja

Navedene kategorije podijeljene su u sljedeće potkategorije. Kategorija *Uloga* podijeljena je na potkategorije *Očuvanje etičkih aspekata*, *Sigurnost*, *Upravljanje podacima* i *Ostalo*. Kategorija *Primjena* podijeljena je na potkategorije *Promet*, *Okoliš*, *Nadzor*, *Energetika*, *Pametna kuća*,

²⁰ Rjab, A.B., Mellouli, S. (2018): Smart cities in the era of artificial intelligence and internet of things: literature review from 1990 to 2017, Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age.

²¹ Rjab, A.B., Mellouli, S. (2019): Artificial Intelligence in Smart Cities: Systematic Literature Network Analysis. ICEGOV2019.

Zdravstvo, Obrazovanje i Ostalo. Kategorija *Prepreke i Izazovi* podijeljena je na potkategorije *Sigurnost* i *Etička pitanja*. Iako kategorije *Uloga* i *Izazovi i prepreke* imaju potkategorije iste tematike kao što su *Očuvanje etičkih aspekata* i *Etika* te *Sigurnost* (u obje kategorije), znanstveni članci koji im sadržajno pripadaju prikazuju postojeća rješenja za etičke i sigurnosne probleme vezane uz usko područje primjene u pametnim graovima (*Uloga*) i moguće probleme vezane uz etiku i sigurnost za koje još nije ili je ponuđeno samo djelomično rješenje (*Izazovi i prepreke*).

Potkategorije su određene s obzirom na broj članaka čija se tematika bazira na određeno područje. Konkretno, selekcijom članaka uočeno je da veliki broj članaka govori o primjeni umjetne inteligencije u prometu (sigurnosti prometa, prijevoznim sredstvima ili pametnom parkingu) te je nastala potreba da se radi bolje preglednosti grupiraju članci s takvom tematikom u potkategoriji *Promet* kategorije *Primjena*. Na sličan način su se odredile i ostale potkategorije. Potkategorije *Ostalo* unutar kategorija *Uloga* i *Primjena* nastale su zbog članaka koji su se pojedinačno ili u malom broju sadržajno razlikovali od članaka iz ostalih potkategorija. Tako se na primjer članci čija se tematika bazira na primjeni umjetne inteligencije u procjeni vrijednosti zemljišta ili u konzervaciji i restauraciji različitih predmeta i umjetničkih djela nisu mogli svrstati niti u jednu prethodno navedenu potkategoriju pa su se svi pojedinačni slučajevi grupirali u potkategoriju *Ostalo* unutar kategorije u kojoj se nalaze.

Prema preporukama autora Webster i Watson²² te s obzirom na shemu istraživanja izrađen je i klaster referenci (*Tablica 1*) koji pruža malo detaljniji pregled informacija o člancima. Klaster sadržava svih 94 članaka iz uzorka koji su navedeni abecednim redoslijedom uz godinu u kojoj su objavljeni. Sve kategorije i potkategorije prethodno definirane u shemi istraživanja su navedene u klasteru. S obzirom na potkategoriju unutar koje članak sadržajno pripada obilježen je znak (x). Ukoliko neki znanstveni članak sadržajno pripada većem broju potkategorija, one su sve obilježene.

Na ovaj način lako je uočljivo koja je potkategorija sadržajno najzastupljenija kao i ona unutar koje je zastupljen minimalan broj članaka. Osim toga, prilikom provođenja različitih znanstvenih istraživanja za neko specifično područje vezano uz umjetnu inteligenciju i pametne gradove klaster referenci može poslužiti kao dobra polazna točka prilikom pretraživanja literature.

²² Webster, J., Watson, R. T. (2002): Analyzing the past to prepare for the future : Writing a literature review, MIS Quarterly, 26(2), str. 13–23.

Br.	Referenca	Uloga				Primjena								I/P	
		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.1	3.2
1.	Abbas i suradnici (2020)								x						
2.	Ahmed i suradnici (2020)						x								
3.	Ajerla i suradnici (2019)										x				
4.	Al Zamil i suradnici (2019)			x											
5.	Alhussein i suradnici (2019)*										x				
6.	Alhussein i suradnici (2019)*										x				
7.	Almeida i suradnici (2018)							x							
8.	Almeshaiel i suradnici (2019)								x						
9.	Amin i suradnici (2019)										x				
10.	Anthony Jnr (2020)				x										
11.	Asad i suradnici (2020)					x									
12.	Austin i suradnici (2020)				x				x						
13.	Aydin i suradnici (2015)			x											
14.	Aymen i suradnici (2019)					x			x						
15.	Cai i suradnici (2019)					x									
16.	Calvo (2020)													x	
17.	Cao i suradnici (2019)						x								
18.	Castelli i suradnici (2017)							x							
19.	Chen, M. i suradnici (2019)		x												
20.	Chen, Q. i suradnici (2019)			x		x	x	x			x				
21.	Choudhury i suradnici (2019)					x									
22.	De Paz i suradnici (2016)														
23.	Dennis i suradnici (2018)*													x	
24.	Dilawar i suradnici (2018)			x									x		
25.	Diro i suradnici (2017)		x												
26.	El-Wakeel i suradnici (2018)					x									
27.	Eldrandaly i suradnici (2019)							x							
28.	Etzioni i suradnici (2016)*													x	
29.	Falco i suradnici (2018)		x												
30.	Ferrara i suradnici (2019)			x											
31.	Gomede, E. i suradnici (2020)*											x			
32.	Gomede, E. i suradnici (2018)											x			
33.	Gomez i suradnici (2018)				x										
34.	Gong i suradnici (2019)			x											
35.	Hossen i suradnici (2019)					x									
36.	Huang, J. i suradnici (2016)					x									
37.	Huang, Z. i suradnici (2019)					x									
38.	Hurst i suradnici (2020)								x	x					
39.	Hwang i suradnici (2019)					x									
40.	Idowu i suradnici (2016)								x						
41.	Iqbal i suradnici (2018)			x		x		x			x		x		
42.	Jung i suradnici (2020)						x	x							
43.	Ke, R. i suradnici (2020)					x									
44.	Ke, X. I suradnici (2020)					x									
45.	Khan i suradnici (2019)						x								
46.	Kim i suradnici (2020)		x												
47.	Kumar Medapati i suradnici (2019)							x							
48.	Li i suradnici (2018)					x									
49.	Liang i suradnici (2019)*		x											x	
50.	Lin i suradnici (2017)									x					
51.	Liu, C.H. I suradnici (2019)							x							
52.	Liu, Y. i suradnici (2020)												x		
53.	Liu, Y. i suradnici (2019)												x		
54.	Liu, Y. I suradnici (2019)								x						
55.	Mannion i suradnici (2015)					x									

Tablica 1. a) Klaster referenci abecednim redoslijedom (članci 1 - 55)

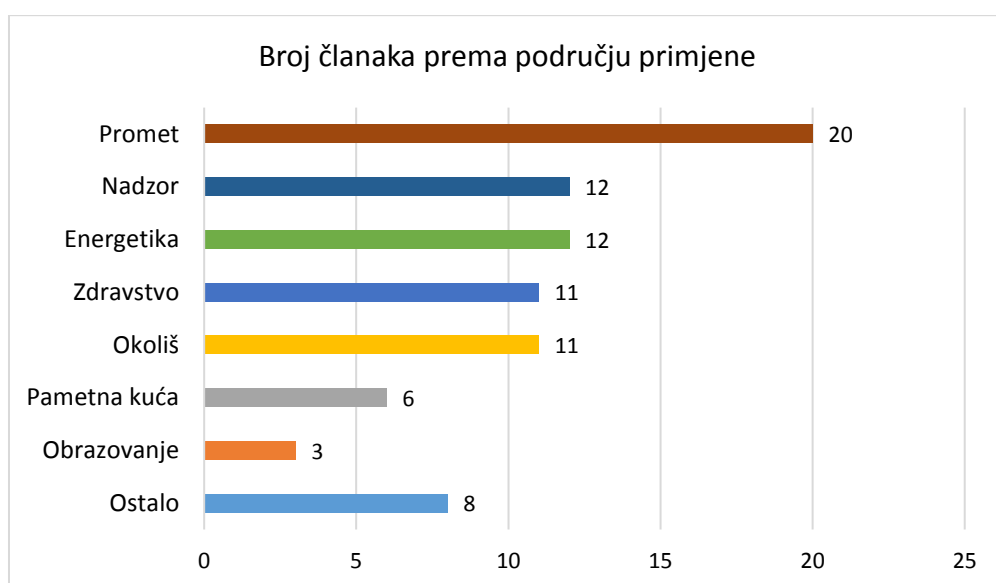
*znanstveni članci uvršteni u pregled literature praćenjem citiranja unaprijed i unatrag

Br.	Referenca	Uloga				Primjena								I/P	
		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.1	3.2
56.	Manzanilla-Salazar i suradnici (2020)												x		
57.	Martinez Garcia i suradnici (2018)					x									
58.	Miraftabzadeh i suradnici (2018)							x							
59.	Mo i suradnici (2019)						x								
60.	Mohanta i suradnici (2019)*										x				
61.	Niu i suradnici (2015)					x									
62.	Obinikpo i suradnici (2017)*										x				
63.	Park, J.H. i suradnici (2019)						x								
64.	Park, S. i suradnici (2019)								x						
65.	Ping i suradnici (2020)						x								
66.	Ponce i suradnici (2018)									x					
67.	Qin i suradnici (2018)							x							
68.	Qiu i suradnici (2020)					x									
69.	Rojek i suradnici (2019)						x								
70.	Roldan i suradnici (2020)		x												
71.	Sanam i suradnici (2020)									x					
72.	Serban i suradnici (2020)								x						
73.	Shen i suradnici (2019)	x													
74.	Sholla i suradnici (2020)	x													
75.	Shousong i suradnici (2019)													x	
76.	Shu i suradnici (2019)			x											
77.	Talamo i suradnici (2020)													x	
78.	Thi Le i suradnici (2019)								x						
79.	Thi Le i suradnici (2019)								x						
80.	Vazquez-Canteli i suradnici (2018)								x						
81.	Venkatesh i suradnici (2018)										x				
82.	Wan i suradnici (2018)					x									
83.	Wang, S. (2019)											x			
84.	Wang, H. i suradnici (2020)					x									
85.	Wu i suradnici (2020)						x								
86.	Xiong i suradnici (2017)							x							
87.	Xu i suradnici (2020)		x							x					
88.	Yao i suradnici (2019)			x											
89.	Yassine i suradnici (2017)*									x					
90.	Zhang, P. i suradnici (2019)						x								
91.	Zhang, Q. i suradnici (2017)										x				
92.	Zhao, B. i suradnici (2019)													x	
93.	Zhao, L. i suradnici (2019)							x							
94.	Zhou i suradnici (2020)	x									x				

Tablica 1. b) Klaster referenci abecednim redoslijedom (članci 56 – 94)

*znanstveni članci uvršteni u pregled literature praćenjem citiranja unaprijed i unatrag

S obzirom na podatke iz *Tablice 1* predstavljen je *Grafički prikaz 5* koji prikazuje broj članaka iz uzorka prema području primjene. Na grafu je vidljivo kako su autori čak 20 članka pisali o primjeni umjetne inteligencije u prometu. Veliki raskorak između vodeće potkategorije po broju članaka koje joj sadržajno pripadaju i prve dvije sljedeće potkategorije *Nadzor* i *Energetika*, koje su prema broju članaka jednako zastupljene (12 članaka) govori o tome kolika je zainteresiranost znanstvenika za istraživanjima primjene umjetne inteligencije u prometu. Po broju članaka zatim slijede *Zdravstvo* i *Okoliš* s jednakim brojem članaka (11), *Pametna kuća* sa 6 članaka, *Obrazovanje* sa 3 članka i 8 članaka različite specifične temetike sadržane u kategoriji *Ostalo*.



Grafički prikaz 5. Broj članaka prema području primjene

4. KATEGORIJE ISTRAŽIVANJA UMJETNE INTELIGENCIJE U PAMETNIM GRADOVIMA

4.1. Uloga umjetne inteligencije u pametnim gradovima

4.1.1. Očuvanje etičkih aspekata

Rješenja pametnih gradova pružaju mnoge dobrobiti za svoje korisnike, ali da bi bila uspješna nužno je prikupljati velike količine podataka, kako onih javnih i lako dostupnih, tako i onih osobnih. Prikupljanjem velikih količina podataka s različitih Internet of Things (IoT) uređaja javlja se zabrinutost za privatnošću tih podataka. Iako se većina postojećih rješenja oslanja na pretpostavku da se podaci mogu pouzdano prikupiti, u stvarnosti to nije slučaj te su predstavljena rješenja koja čuvaju šifriranost IoT podataka i temelje se na blockchainu i strojnom učenju [73] i na Human-in-the-loop modelu [94].

Nadalje, pametni uređaji su lišeni moralnih, vjerskih i zakonskih odgovornosti što može dovesti do situacija u kojima se ugrožavaju bitne ljudske vrijednosti. Kao odgovor na ovaj problem predložen je sustav čija metoda rješava etičku usklađenost pametnih stvari kako se ne bi kršila etička prava ljudi [74].

4.1.2. Sigurnost

Ljudi su u svakodnevnom životu okruženi različitim IoT uređajima poput mobilnih telefona ili prijenosnih računala. Razvojem IoT tehnologija korisnici mogu pristupiti pametnim uslugama i tehnologijama bežične komunikacije koje koriste umjetnu inteligenciju. Kako bi se osigurala učinkovita upotreba predložen je algoritam koji pruža pametnu kontrolu bežične komunikacijske tehnologije i inteligentnih aplikacija [19].

Ekspanzijom IoT uređaja i dodavanjem njihovih protokola broj kibernetičkih napada se uzastopno povećava. Kako bi se doskočilo sigurnosnim nedostacima mehanizama strojnog učenja predložena je upotreba dubinskog učenja u cilju učinkovitijeg otkrivanja kibernetičkih napada [25]. Nagli porast IoT tehnologija doveo je i do skupljanja velike količine podataka koji nisu obrađeni na vrijeme što uzrokuje potencijalnu prijetnju. Međutim, tehnikama umjetne inteligencije takvi podaci se mogu iskoristiti za detekciju anomalija [87].

Korištenjem tehnika umjetne inteligencije opcija je i razviti automatizirani alat za procjenu rizika kritične infrastrukture koja bi se potencijalno mogla susresti s kibernetičkim napadom [29]. Predstavljen je i novi integrirani sustav s primjenom umjetne inteligencije za kibernetičku sigurnost u pametnim gradovima [46]. Koje su dobrobiti korištenja strojnog učenja za sigurnost IoT uređaja poput poboljšanja mehanizama za otkrivanje kibernetičkih napada je također navedeno [49]. Jedno od rješenja koje koristi strojno učenje predlaže inteligentnu arhitekturu koja može otkriti različite vrste IoT sigurnosnih napada u stvarnom vremenu i sposobna je jednostavno upravljati njihovim uzorcima [70].

4.1.3. Upravljanje podacima

IoT uređaji i tehnologije koje se primjenjuju u pametnim gradovima prikupljaju jako puno multimedijских podataka kao što su audio, video, slika ili tekstualni podaci. S velikom količinom podataka teško je upravljati tradicionalnim tehnikama i algoritmima zbog čega su potrebne nove metode koje će olakšati taj proces. Neke od takvih metoda su strojno učenje koje ima primjenu u klasifikaciji slika [76] i dubinsko učenje koje se koristi za klasifikaciju audio podataka [4].

Nakon što su podaci prikupljeni iz IoT uređaja i skladišteni, njihovu analizu uvelike mogu olakšati algoritmi strojnog učenja [13] kao i dubinskog učenja [20] ili modela koji koriste umjetnu inteligenciju kako bi podatke prikupljene preko senzora analizirali u stvarnom vremenu [30]. Zbog tako velikog broja podataka potrebno je poboljšati upravljanje prometom podataka u IoT mrežama klasifikacijom prometa podataka uz pomoć tehnika dubinskog učenja što može poboljšati sigurnost mreže i kvalitetu usluge [88].

Popularizacijom društvenih mreža pripadnici različitih skupina na takvim mjestima dijele svoje interese, objavljuju statuse i komentiraju različite teme od javnog interesa. Takve informacije su vrijedne gradskoj upravi kako bi se bolje povezala s građanima u cilju razumijevanja njihovih potreba ili zabrinutosti političkim, ekonomskim, vjerskim i socijalnim pitanjima. Izdvajanje aspekata korištenjem metoda strojnog učenja iz velikih količina podataka na društvenim mrežama može pružiti bolje razumijevanje izbora građana [24].

Sudjelovanje neprofitnih organizacija u izgradnji pametnih gradova je od velike važnosti i nužno je analizirati koji su čimbenici koji ih pokreću na sudjelovanje. Otklanjanje dosadašnjih problema prilikom analize uspješno se pokazalo korištenjem strojnog učenja [34].

Važnu ulogu u izgradnji funkcionalnih pametnih gradova imaju *Big data*. Tradicionalne tehnike za analizu se ne mogu nositi s ovako velikom količinom podataka zbog čega se koriste metode umjetne inteligencije [41].

4.1.4. Ostalo

4.1.4.1. Potpora odlučivanju

Prilikom donošenja strateških odluka o načinu provođenja inicijativa za pametne gradove umjetna inteligencija se može koristiti za razvoj sustava koji će nuditi preporuke za planiranje pametnog grada [10].

4.1.4.2. Izgradnja digitalnog blizanca pametnog grada

U cilju poboljšanja pametnog grada jedna od opcija je, uz pomoć umjetne inteligencije i strojnog učenja, izgradnja njegovog digitalnog blizanca koji će imati ulogu u prikupljanju i obradi podataka, identifikaciji događaja i automatiziranom donošenju odluka [12].

4.1.4.3. Ravnoteža opterećenja mreža

Porastom povezanih IoT uređaja javila se potreba za poboljšanjem kapaciteta mrežnih struktura u pametnim gradovima. Predstavljena je shema za učitavanje balansiranja koja se temelji na tehnikama strojnog učenja te za cilj ima optimalno uravnoteženje opterećenja mreža [33].

4.2. Primjena umjetne inteligencije u pametnim gradovima

4.2.1. Promet

Različiti parametri vožnje poput opterećenja vlaka razlikuju se od rute do rute zbog čega se mora provesti energetske optimalan profil vožnje. Kako bi ruta vlaka bila energetske optimalna predstavljen je okvir upravljanja vlakovima koristeći tehnike strojnog učenja [36]. Korištenjem povijesnih podataka o putnicima iz senzora koji su instalirani na željezničkim postajama mogu se, uz pomoć umjetne inteligencije, razvijati modeli predikcije kako bi se optimizirale operativne performanse putničkog prometa kao što su zagušenja, nesreće, preopterećenje vagona i održavanje [11], [39]. Također, korištenje prometnih podataka uz tehnike dubinskog

učenja može omogućiti sigurniju, koordiniraniju i pametniju uporabu transportnih mreža uz primjene na transportni tok, ljudsku pokretljivost i parking [20].

Sve veći broj električnih vozila na gradskim ulicama uvjetovao je istraživanje o novom pristupu upravljanja energijom u električnim vozilima zasnovan na dvosmjernoj komunikaciji između vozila i zgrada korištenjem neuronskih mreža [14].

Limitiran broj parkirnih mjesta problem je svakog vozača. Uz pomoć senzora integriranih u pametni telefon i tehnika strojnog učenja vozači mogu dobiti informaciju ulazi li automobil na parkiralište ili ga napušta. [35]. Osim strojnog učenja, pronalazak slobodnog parking mjesta omogućen je i korištenjem neuronskih mreža [15] te uz algoritme umjetne inteligencije i edge computing paradigme [43]. Radarske slike predstavljaju odličnu opciju za pametne gradove u odnosu na ostale optičke varijante jer minimiziraju probleme s privatnoću. Poteškoće koje se javljaju prilikom interpretacije signala radara mogu se riješiti tehnikama dubinskog učenja s ciljem pronalaska slobodnih parkirnih mjesta [57].

Jedan od najznačajnijih izazova prilikom upravljanja gradskim prometom je sigurnost dionika. Zbog toga je predstavljen novi, poboljšani okvir za otkrivanje pješaka korištenjem neuronskih mreža [21]. Loše ceste uzrokuju oštećanje vozila i zagušenja, a mogu utjecati i na sigurnost u prometu. Kao odgovor na ovaj problem predstavljen je okvir za praćenje anomalija na cestama koji koristi tehnike strojnog učenja i prikuplja podatke iz senzora kretanja koji su dostupni u većini vozila, a omogućuju detektiranje nepravilnosti cesta i njihov utjecaj na kretanje vozila [26].

Predstavljen je i inteligentan prometni sustav pametnog grada usredotočen na predviđanje potražnje taksija. Cilj sustava je optimizirati raspodjelu taksi flote što ima mnoge prednosti kao što je dostupnost taksija, smanjeno vrijeme čekanja i putovanja za kupce te bolje upravljanje gorivom [41]. Koje napretke u poboljšanju taksi usluga može donijeti korištenje tehnika dubinskog učenja prikazano je na primjeru grada Šangaja gdje su se u tromjesečnom periodu skupljali podaci iz više od 12 000 taksi vozila [37].

Još jedan primjer iz Kine predstavlja primjenu dubinskog učenja u transportnom sustavu. U svrhu poboljšanja kvalitete i sigurnosti gradskog prometa regije Macao primjenjen je inteligentni transportni sustav za upravljanje prijevozom u stvarnom vremenu [48].

Otkrivanje i prepoznavanje vozila jedan je od najvažnijih aspekata inteligentnog prijevoza, a ima važnu ulogu i u kriminalističkom istraživanju. Za precizno prepoznavanje tipova vozila i poboljšanu sposobnost otkrivanja modela predložene su tehnike dubinskog učenja [44]. Razlike u skupovima podataka koji se koriste za prepoznavanje vozila mogu dovesti do neodgovarajućeg rješenja, a ukoliko se koristi nedovoljan broj skupova podataka, model za prepoznavanje vozila se ne može kvalitetno obučiti. Kako bi se doskočilo ovom problemu predložena je metoda transfernog učenja [84].

Pametno upravljanje semaforima predstavlja učinkovito upravljanje gradskim prometom. Kako tehnike dubinskog učenja mogu učinkovito smanjiti duljine redova na cestama i vrijeme čekanja predstavljeno je u člancima [55], [82].

Pronalazak najbrže rute vožnje jedno je od važnih značajki pametnog prometa. Inovativni mehanizam traženja ruta zasnovan na predviđanju prometa i baziran na tehnikama dubinskog učenja poboljšava uvjete vožnje i smanjuje vrijeme putovanja do odredišta [61]. Vrijeme potrebno za određenju putanju u prometu može se precizno odrediti i uz metodu dubinskog učenja i algoritma najbližeg susjeda [68].

4.2.2. Okoliš

Globalizacija je ubrzala velike prijetnje kao što su eksteremne vremenske prilike, požari i potresi. Učinkovito praćenje okoliša jedan je od najvažnijih zadataka pametnih gradova. Kontinuiranom analizom podataka i praćenjem kvalitete zraka i pojave prirodnih i umjetnih katastrofa uz pomoć metode neuronskih mreža mogu se utvrditi uzroci problema, izdati prethodna upozorenja i organizirati resursi za spašavanje [20]. Za divlje požare, valove, hladnoće i vrućine predstavljen je okvir za brže donošenje odluka temeljen na umjetnoj inteligenciji [42].

Zagađenje zraka postaje sve ozbiljniji problem stoga je uspostava sustava za rano prepoznavanje promjena u kvaliteti zraka od velike važnosti. Kao odgovor na to razvijen je novi sustav koji se sastoji od predviđanja i procjene, a baziran je na metodi umjetne inteligencije [59].

Razvoj industrije i urbanizacija doveli su i do zagađenja vode i pogoršanja njezine kvalitete zbog čega je nužna brza i precizna detekcija zagađenja. Kao odgovor na ovaj problem

predstavljen je IoT sustav koji koristi tehnike strojnog učenja za praćenje kvalitete vode u stvarnom vremenu, analizu trendova u kvaliteti vode i otkrivanje anomalija [2].

Detekcija buke u gradu igra važnu ulogu u upravljanju pametnim gradovima. Kako bi se unaprijedile dosadašnje performanse prepoznavanja urbanih zvukova predstavljena je metoda koja se temelji na neuronskim mrežama [17].

Rana detekcija dima koji se ubrzo može pretvoriti u vatru može spriječiti nastanak požara. Zbog toga važnu ulogu imaju sustavi za rano prepoznavanje pojave dima kao što je energetska učinkovit sustav za detekciju dima u normalnom i maglovitom okruženju koji se temelji na neuronskim mrežama [45]. Također, predstavljen je i sustav s mehanizmom minimiziranja kašnjenja prijenosa podataka koji koristi metodu strojnog učenja [63], dok je za otkrivanje i predviđanje izvora požara na nepreglednim mjestima kao što su tuneli predložena metoda umjetne inteligencije [85].

Čistoća gradskih ulica može utjecati na zagađenost okoliša i zdravlje ljudi, a uobičajeni načini praćenja čistoće i čišćenja ulica uzrokuju velike troškove za gradski proračun. Korištenje sustava za detekciju smeća na ulicama koji se bazira na metodi dubinskog učenja može imati mnoge prednosti za grad i njegove stanovnike [65], [90].

Kako bi se minimizirali gubitci vode u gradskim vodoopskrbnim mrežama razvijen je sustav za otkrivanje i lociranje propuštanja vode iz cijevi uključujući i skrivena propuštanja, a temelji se na neuronskim mrežama [69].

4.2.3. Nadzor

Sve veća pojava kriminala, neravnomjerno raspoređena po različitim urbanim sredinama, uvjetuje organizacijama za provođenje zakona optimiziranu preraspodjelu resursa zbog čega je nužno predvidjeti učestalost kriminala prema područjima. Stoga, predložen je obavještajni sustav koji se temelji na umjetnoj inteligenciji, a iz velike količine podataka izvlači korisne informacije o kriminalu [18]. Predstavljen je i model koji opisuje ponašanje korisnika i koristi metodu dubinskog učenja, a bazira se na predviđanju sljedećih radnji i prepoznavanju anomalija u ponašanju [7]. Također, dizajnirana je i inteligentna video tehnologija koja identificira abnormalno ponašanje u masovnim podacima video nadzora i temelji se na tehnikama neuronskih mreža [67].

Za suzbijanje kriminala veliku ulogu imaju i sustavi za prepoznavanje lica koji koriste metodu umjetne inteligencije [20] i uspoređuju slike lica s onima iz baza podataka [47], sustavi za identifikaciju ljudi s obzirom na njihove biometrijske i bihevioralne osobine [41] te sustavi za reidentifikaciju osoba [86], posebice u gužvama [58].

Otkrivanje gužvi mobilnim prikupljanjem podataka uz energetski efikasan pristup omogućeno je uz pomoć dubinskog učenja. Praćenjem podataka iz senzora koji su ugrađeni u različite mobilne terminale kao što su autonomna vozila ili bespilotne letjelice može se vršiti nadzor i pratiti predstavlja li veliki broj ljudi na jednom mjestu zagušenje u prometu, skupinu prolaznika odnosno pješaka ili zastoj uzorkovan nesrećom [51]. U svrhu upravljanja zagušenosti mreže dizajniran je algoritam, također temeljen na dubinskom učenju, za ravnotežu mrežnog opterećenja [93].

Nadzorne kamere imaju mnoge primjene i u novonastalim gradovima kao što je Novi Kairo kojeg karakterizira zeleni stil života, stoga je uveden novi algoritam umjetne inteligencije za podešavanje orijentacije nadzornih kamera i poboljšavanje pokrivenosti vidnog polja [27]. Za održavanje zelenijeg grada važan je i video nadzor za detekciju požara koji koristi neuronske mreže [42].

4.2.4. Energetika

Upravljanje energijom jedan je od najzahtjevnijih problema u pametnim gradovima, a sustavi za upravljanje energijom dobivaju veliku pozornost. Tako je predložen dizajn za upravljanje energijom temeljen na IoT uređajima i strojnom učenju [54] te fizička i virtualna platforma za razvoj održivog energetskog grada koja se temelji se na umjetnoj inteligenciji [64].

Obnovljiva energija predstavlja snažan resurs za budući razvoj gradova, a uz pomoć umjetne inteligencije može ostvariti veliki napredak. Zbog toga je napravljena analiza o korištenju umjetne inteligencije u sektoru obnovljive energije u Europi [72]. Solarna energija je jedan od najatraktivnijih obnovljivih izvora. Kako kombinacija neuronskih mreža i dubinskog učenja može pomoći prilikom procjene performansi fotonaponskih panela i njihove primjene u specifičnom okruženju je također navedeno [8]. Koristeći metodu dubinskog učenja napravljen je i model za energetske održivost elektrana [1].

Predložena je arhitektura digitalnog blizanca i pojednostavljena analiza potrošnje energije u zgradama na području Chicaga koristeći metodu strojnog učenja [12] te model [40] i tehnike

[78], [79] za predviđanje toplinskog opterećenja u zgradama. Također, predstavljeno je i simulacijsko okruženje koje kombinira energetske simulator i platformu za implementaciju algoritama strojnog učenja, a koristi se za planiranje i upravljanje potrošnje energije u zgradama [80].

Nedostatak goriva u kućanstvima utječe na kvalitetu života, a može utjecati i na povećanje sezonske smrtnosti. Praćenjem podataka iz pametnih brojila plina mogu se identificirati osjetljive situacije. Prezentiran je model temeljen na strojnom učenju za autonomnu detekciju nedostatka goriva [38].

Električna vozila mogu uz pomoć umjetne inteligencije optimizirati korištenje energije, stoga je predstavljen novi pristup upravljanju energijom u pametnim gradovima koji se sastoji od dvosmjerne komunikacije između vozila i zgrada [14].

4.2.5. Pametna kuća

Kako bi se osigurala uvijek dovoljna količina goriva u kućanstvu predstavljen je model koji uz pomoć strojnog učenja prati podatke iz pametnih brojila plina i detektira stanja u kojima je gorivo na niskim razinama [38].

Prikupljanjem podataka o ponašanju i o kakvoći zraka u zatvorenom prostoru putem senzora i uz pomoć strojnog učenja ispituje se povezanost između kvalitete zraka u zatvorenim prostorima i ponašanja osoba koje se u njima nalaze [50], a predviđanje klimatskih uvjeta u zatvorenim prostorima i s udaljenih lokacija omogućeno je korištenjem IoT tehnologija i umjetne inteligencije [66].

Predložena je i metoda precizne lokalizacije različitih subjekata u zatvorenom prostoru korištenjem bežičnih signala temeljena na tehnikama strojnog učenja [71].

Prikupljanjem podataka iz pametnih uređaja u kući mogu se otkriti obrasci ponašanja, odnosno rutine pojedinaca koji tu žive te primjenom tehnika strojnog učenja dobiti važne informacije koje mogu imati primjenu u zdravstvu [89]. Osim toga, pametni uređaji zajedno s metodom dubinskog učenja mogu poslužiti za detekciju anomalija u domovima [87].

4.2.6. Zdravstvo

Primjena umjetne inteligencije postavila je zdravstvenu zaštitu na novu razinu. Razvojem tehnologija predstavljene su mnoge primjene u pametnom zdravlju pa tako i model koji koristi neuronske mreže, a omogućuje biometrijsku identifikaciju čovjeka na temelju elektrokardiogram (EKG) [91]. Prikupljanjem podataka iz različitih senzora i njihovim analiziranjem moguće je pratiti stanje pacijenata [20], [41], [81], a uz novu 5G mrežu dobrobiti mogu biti još veće [60].

Za smanjenje broja odlazaka kod liječnika pobrinula se platforma bazirana na dubinskom učenju koja uz pomoć pametnog telefona snima glas i informacije o promjeni boje glasa šalje poslužitelju u oblaku. Nakon obrade podataka informacije se, ukoliko je potrebno, šalju liječniku u svrhu izdavanja recepta [5]. Predložen je i sustav koji koristeći metodu dubinskog učenja te elektroencefalografskom (EEG) pretragom moždanih aktivnosti automatski otkriva moguće bolesti [6]. Korištenjem različitih senzora kao što je EEG senzor prikupljaju se podaci o pacijentima poput izraza lica, govora, pokreta, glasa, gesta koji se putem IoT uređaja šalju u sustav i metodom dubinskog učenja obrađuju. Na ovaj se način prati stanje pacijenta u stvarnom vremenu i pruža hitna pomoć po potrebi [9].

Postoje različiti komercijalni uređaji za detekciju pada starijih osoba. S obzirom da su oni uglavnom skupi ili zaračunavaju visoke mjesečne pristojbe predložena je financijski mnogo prihvatljivija varijanta takvog uređaja kod kojeg sustav informacije o padu šalje na obližnji prijenosni uređaj i analizira ih u stvarnom vremenu. Sustav je pogodan za staračke domove i klinike, a koristi tehnike strojnog učenja. [3].

Podaci o pacijentima koji se prikupljaju putem senzora smatraju se osjetljivim podacima, stoga su predstavljene tehnike dubinskog učenja koje osim njihove zaštite mogu i poboljšati predviđanje i donošenje odluka [62]. Također, za očuvanje privatnosti u pametnom zdravlju korištena je metoda umjetne inteligencije u kombinaciji s Human-in-the-Loop modelom kako bi se osigurala privatnost izvještaja u zdravstvenim platformama [94].

4.2.7. Obrazovanje

Optimizacija obrazovnog sadržaja koji bi odgovarao sposobnostima učenika jedan je od glavnih zadataka pametnog obrazovanja. U cilju poboljšanja optimizacije obrazovnog sadržaja predstavljen je model koji koristi metodu umjetne inteligencije [83].

Učenici se razlikuju prema načinu na koji prepoznaju, obrađuju i pohranjuju informacije te im s obzirom na to odgovaraju različiti stilovi učenja. Kako bi se poboljšali sustavi za e-učenje te sam proces pohrane znanja s obzirom na različite stilove učenja, korištene su metode umjetne inteligencije [31].

Prijedlog je i pronaći učinkovitije načine za poboljšanje obrazovanja te primjenom računalne inteligencije razviti profil znanja učenika koji može pomoći nastavnicima za bolje usmjeravanje učenika i uspješnost postizanja ciljeva koji su postavljeni za svakog od njih [32].

4.2.8. Ostalo

4.2.8.1. Pametna uprava

Veliki broj ljudi svoja razmišljanja vezana uz različite teme od javnog interesa dijeli putem društvenih mreža. U cilju boljeg povezivanja gradske uprave s građanima, predložena je metoda strojnog učenja koje iz velike količine podataka na društvenim mrežama izdvaja pojedine aspekte za bolje razumijevanje izbora građana [24].

4.2.8.2. Poslovanje

Sve veći značaj u poslovanju i strateškom planiranju poduzeća ima *Big data*. Za analizu i obradu tako velikog broja podataka koji se mogu skupiti iz različitih izvora koriste se metode strojnog i dubinskog učenja u cilju stvaranja učinkovitih poslovnih modela i sustava za potporu odlučivanju [41].

Veliki broj poduzeća koji nudi dostavu za svoje proizvode shvaća važnost predviđanja odredišta i procijenjeno vrijeme dolaska dostavnog vozila u cilju boljeg planiranja resursa i većeg zadovoljstva klijenata. Kako bi se poboljšala kvaliteta predviđanja i operativna učinkovitost u logistici koristi se metoda strojnog učenja [92].

Za odluku o odabiru optimalne lokacije nove trgovine predstavljen je model koji koristi dubinsko učenje [53].

4.2.8.3. Restauracija i konzervacija

Konzervacija i restauracija kulturnih dobara složen je proces koji zahtjeva sudjelovanje pojedinaca iz različitih područja pa tako i stručnjaka za informacijsku tehnologiju te podatkovne

znanstvenike. Prikazano je kako oni mogu doprinijeti poboljšanju kulturne baštine uz korištenje moderne tehnologije koja uključuje IoT i umjetnu inteligenciju [77].

4.2.8.4. Robotika

Napretkom tehnologije inteligencija robota se poboljšava i postaje sve sličnija inteligenciji čovjeka. U cilju pravovremene reakcije robota na podražaje iz vanjskog okruženja predložena je metoda dubinskog učenja i interneta robotskih stvari (IoRT) koja omogućava praćenje kontrole njihova ponašanja [52].

4.2.8.5. Telekomunikacije

Kako bi IoT aplikacije radile bez poteškoća nužno je na vrijeme otkriti kvarove na baznim stanicama bežičnih mreža. Za uspješno otkrivanje ovakvih nedostataka predložen je okvir koji koristi statističke podatke ključnih pokazatelja uspješnosti (KPI) baznih stanica i metodu strojnog učenja [56].

4.2.8.6. Procjena vrijednosti zemljišta

Neodgovarajući i mali uzorci podataka te pogreške prilikom kvantifikacije obilježja koji su potrebni za procjenu vrijednosti stambenog zemljišta onemogućuju adekvatnu procjenu vrijednosti istoga. Stoga, predstavljena je metoda procjene vrijednosti korištenjem umjetne inteligencije i transfernog učenja [75].

4.3. Izazovi i prepreke umjetne inteligencije u pametnim gradovima

4.3.1. Sigurnost

Pametna rješenja zahtijevaju prikupljanje velikog broja podataka iz IoT uređaja i često ostanu nezaštićena od cyber napada. Iako se metoda strojnog učenja već koristi za sigurnost kibernetičkih sustava, može biti nedovoljna u pružanju zaštite, a često se upravo ova metoda koristi i prilikom izvršavanja cyber napada [49].

4.3.2. Etika

Zahvaljujući sposobnosti umjetne inteligencije da analizira velike količine podataka, kontrolu i donošenje odluka su preuzeli algoritmi koji djeluju s ciljem maksimizacije koristi što može dovesti do problema nejednakosti u društvu [16]. Također, raste broj pametnih sustava kao što su na primjer autonomna vozila koja samostalno donose odluke zbog čega se javlja potreba za otklanjanjem mogućeg neetičkog ponašanja putem nadziranih modela umjetne inteligencije [28]. Kao odgovor na etička pitanja koja se vežu uz primjenu umjetne inteligencije u rješenjima pametnih gradova nastala je nova disciplina umjetne inteligencije – etika strojeva koja razvija inteligentne sustave s etičkim konceptima. S obzirom da je ova disciplina još u začetku, susreće se s mnogim izazovima [23].

5. PREPORUKE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Ubrzanim razvojem umjetne inteligencije pojavile su se mnoge mogućnosti za unapređenje gradskih usluga. Unatrag nekoliko godina nastala su različita pametna rješenja u cilju otklanjanja negativnih efekata i stvaranja održivog grada. Ovim pregledom literature prikazana su dosadašnja istraživanja o načinima korištenja umjetne inteligencije u pametnim gradovima, a u nastavku slijede preporuke za buduća istraživanja.

S obzirom da se umjetna inteligencija sve brže razvija, sve brže se razvijaju i nova pametna rješenja za gradove i građane, ali i metode koje se koriste u zlonamjerne svrhe. Kibernetički napadi mogu ugroziti privatnost podataka koji su prikupljeni preko IoT uređaja i sadržavaju ne samo javne, već i osobne podatke pojednaca, te ih zloupotrijebiti. Osim privatnosti, upitna je i sigurnost građana i sustava koji primjenjuju pametna rješenja što može dovesti do nepoželjnih situacija kao što su na primjer napadi na sustave za upravljanje prometom, zdravstvene sustave, sustave za nadzor i sigurnost, itd.

Prijedlog je razvijati nova rješenja za zaštitu od napada. Kako bi se saznalo kakva je rješenja za zaštitu potrebno razvijati potrebno je najprije dobro poznavati sustav koji se želi zaštititi i uočiti njegove slabe strane budući da su meta napada najčešće nezaštićena ili slabije zaštićena područja. Prednost bi bila i moći predvidjeti koji bi dijelovi sustava mogli biti napadnuti uz pomoć tehnika temeljenih na umjetnoj inteligenciji koje će predvidjeti kibernetičke napade. Predviđanje mjesta napada može olakšati dobro poznavanje metoda koje se koriste u zlonamjerne svrhe, odnosno poznavanje njihovih mogućnosti i napredaka koji se postižu razvojem umjetne inteligencije pa je dodatan prijedlog i istraživanje sigurnosnih izazova u pametnim gradovima.

Nadalje, etička pitanja su i dalje veliki izazov s kojim se susreću pametni gradovi. Vjerojatno jedan od najpoznatijih primjera²³ etičkog izazova u pametnom gradu je autonomno vozilo i moguća nesreća kod koje ukoliko dođe do takve situacije vozilo mora odlučiti hoće li žrtvovati putnika kojeg vozi ili pješaka/drugo vozilo. Ovakva pitanja zahtijevaju sudjelovanje čovjeka u donošenju odluka i stvaranja standarda etičkih normi kako se ne bi kršila ljudska prava. Osim toga, prisutni su i etički problemi poput prepoznavanja lica i njihova identifikacija putem

²³ Dennis, L. A., Slavkovik, M. (2018): Machines That Know Right And Cannot Do Wrong: The Theory and Practice of Machine Ethics, IEEE Intelligent Informatics Bulletin, vol. 19, no. 1, str. 8 – 11

biometrijskih i bihevioralnih osobina, zatim reidentifikacija osoba u gužvama i prepoznavanje njihova glasa, roboti koji sve više preuzimaju ljudske osobine, te svima već vjerojatno poznata situacija u kojoj se nakon što se spomene određeni pojam, a bez da se pretražuje po internetu, isti pojavi u obliku promotivnog sadržaja na mobilnim telefonima. Ubrzan razvoj umjetne inteligencije u budućnosti će vjerojatno povećati broj etičkih izazova. Zbog toga je unaprijeđenje već postojećih sustava za usklađivanje etičkih pitanja kod rješenja pametnih gradova još jedna preporuka za buduća istraživanja.

6. ZAKLJUČAK

Rastući broj stanovnika u gradovima, zagađenje okoliša, klimatske promjene i nedostatak resursa samo su neki od izazova s kojima se susreću gradovi. Takvi izazovi zahtijevaju pametna rješenja zbog čega je nastao koncept pametnog grada odnosno ideja održivih gradova koji integriranjem tehnologije u svoje osnovne funkcije mogu olakšati i unaprijediti već postojeća rješenja, stvarati nova i poboljšati kvalitetu života. Jedna od takvih tehnologija je umjetna inteligencija koja svojim ubrzanim razvojem uvelike doprinosi razvoju pametnih rješenja.

U svrhu boljeg razumijevanja, praćenja i istraživanja novih rješenja koja su od interesa za gradove i njihove stanovnike javila se potreba za grupiranjem relevantnih znanstvenih članaka koji proučavaju povezanost umjetne inteligencije i pametnih gradova, odnosno onih članaka koji proučavaju ulogu, primjenu te izazove i prepreke korištenja umjetne inteligencije u pametnim gradovima. Stoga, predstavljen je sustavni pregled literature koji daje uvid u postojeća dostignuća i napretke u pametnim gradovima s obzirom na već navedene kategorije pretraživanja.

Selekcijom znanstvenih članaka uz korištenje rigorozne sustavne metode istraživanja definiran je njihov konačan broj. Kao što je već navedeno, definirane su kategorije istraživanja, ali i potkategorije koje im sadržajno pripadaju. Uočen je nesrazmjer između broja objavljenih članaka s obzirom na kategoriju kojoj pripadaju pa tako postoji veliki broj znanstvenih članaka koji predstavljaju konkretna rješenja za primjenu u pametnim gradovima, a minimalan broj onih koji tematski pokrivaju područje izazova i prepreka korištenja umjetne inteligencije u pametnim gradovima. Najvećem broju znanstvenih članaka tematika je bazirana na poboljšanje usluga u prometu poput pametnog parkinga, upravljanja i sigurnosti u prometu. S druge strane, nedostatak članaka koji obrađuju etičke i sigurnosne probleme ne znači da takvi problemi ne postoje, već da ili ne postoji zainteresiranost za njihovim pisanjem, ili da ovi problemi još nisu dovoljno istraženi. Iako umjetna inteligencija pruža mnoge dobrobiti za razvoj pametnih rješenja, može se koristiti i za kibernetičke napade i manipulaciju osobnih podataka koji su prikupljeni iz različitih senzora čime ovaj problem nije zanemariv.

Nedostaci ovog rada očituju se u malom broju baza za pretraživanje znanstvenih članaka i moguće pristranosti autora prilikom provedbe selekcije članaka. Baze koje su poslužile kao izvor članaka, *Web of Science* i *Scopus*, uzrokovale su manji početni broj članaka. Iako bi povećanje broja baza povećalo i broj dupliciranih članaka, povećao bi se također i broj članaka

koji (nakon otklanjanja duplikata) ulazi u proces selekcije. Veći početni broj članaka povećava kvalitetu sustavnih pregleda literature jer nudi reprezentativniji prikaz stvarnog stanja objavljenih znanstvenih članaka s obzirom na temu koja se istražuje. S druge strane, veća bojaznost od pristranosti autora prilikom selekcije članaka javlja se ukoliko samo jedan autor odlučuje zadovoljava li članak kriterije istraživanja ili ne. Ukoliko selekciju provodi više autora konačan broj članaka koji ulazi u sustavan pregled literature je vjerodostojniji.

Navedene su i prednosti pisanja pregleda literature. Ovaj rad može poslužiti kao polazna točka za daljnja istraživanja i smanjiti vrijeme potrebno za pretragu literature. Osim toga, svi članci iz selektiranog uzorka objavljeni su od 2015. do polovice 2020. godine, a najveći broj njih u zadnje dvije godine. Stoga, ovaj pregled literature sadržava sve članke s novim tehnikama umjetne inteligencije koje se mogu primijeniti na pametne gradove.

Popis grafova

Grafički prikaz 1. Proces selekcije članaka

Grafički prikaz 2. Broj članaka po godinama

Grafički prikaz 3. Broj članaka po znanstvenim časopisima u kojima su objavljeni

Grafički prikaz 4. Odnos između 5 vodećih i ostalih 45 časopisa prema objavljenim člancima izražen u postotku

Grafički prikaz 5. Broj članaka prema području primjene

Popis tablica

Tablica 1. a) Klaster referenci abecednim redoslijedom (članci 1 - 55)

Tablica 1. b) Klaster referenci abecednim redoslijedom (članci 56 - 95)

Popis slika

Slika 1. Vizualizacija pojmova iz članaka Web of Science baze

Slika 2. Gustoća pojavljivanja pojmova u skupu podataka

Slika 3. Faze istraživanja literature

Slika 4. Dijagram toka procesa selekcije članaka

Slika 5. Shema istraživanja

Popis literature uvrštene u sustavni pregled

1. Abbas, S. i suradnici (2020): Modeling, Simulation and Optimization of Power Plant Energy Sustainability for IoT Enabled Smart Cities Empowered With Deep Extreme Learning Machine, IEEE Access, vol. 8, str. 39982-39997
2. Ahmed, U., Mumtaz, R., Anwar, H., Mumtaz, S., Qamar, A. (2019): Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies, Water Supply, 20.1, str. 28 - 45
3. Ajerla, D., Mahfuz, S., Zulkernine, F. (2019): A Real-Time Patient Monitoring Framework for Fall Detection, Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2019
4. Al Zamil, M.G.H., Samarah, S., Rawashdeh, M., Karime, A., Hossain, M. S. (2019): Multimedia-oriented action recognition in Smart City - based IoT using multilayer perceptron, Multimedia Tools and Applications, vol. 78, str. 30315 - 30329
5. Alhussein, M., Muhammad, G. (2019): Automatic Voice Pathology Monitoring Using Parallel Deep Models for Smart Healthcare, IEEE Access, vol. 7, str. 46474 – 46479
6. Alhussein, M., Muhammad, G., Shamim Hossain, M. (2019): EEG Pathology Detection Based on Deep Learning, IEEE Access, vol. 7, str. 27781 – 27788
7. Almeida, A., Azkune, G. (2018): Predicting Human Behaviour with Recurrent Neural Networks, Applied Sciences, vol. 8 (305)
8. Almeshaiei, E., Al – Habaibeh, A., Shakmak, B. (2019): Rapid Evaluation of Micro-Scale Photovoltaic Solar Energy Systems using Empirical Methods Combined with Deep Learning Neural Networks to Support Systems' Manufacturers, Journal of Cleaner Production
9. Amin, S.U., Shamim Hossain, M., Muhammad, G., Alhussein, M., Abdur Rahman, MD. (2019): Cognitive Smart Healthcare for Pathology Detection and Monitoring, IEEE Access, vol. 7, str. 10745 – 10753
10. Anthony Jnr, B. (2020): A case-based reasoning recommender system for sustainable smart city development, AI & Society
11. Asad, M.S., Ahmad, J., Hussain, S., Zoha, A., Abbasi, Q.H., Imran, M.A. (2020): Mobility Prediction-Based Optimisation and Encryption of Passenger Traffic-Flows Using Machine Learning, Sensors, vol. 20 (2629)

12. Austin, M., Delgoshaei, P., Coelho, M., Heidarinejad, M. (2020): Architecting Smart City Digital Twins: Combined Semantic Model and Machine Learning Approach, *ASCE*, vol. 36(4)
13. Aydin, G., Hallac, I.R., Karakus, B. (2015): Architecture and Implementation of a Scalable Sensor Data Storage and Analysis System Using Cloud Computing and Big Data Technologies, *Journal of Sensors*, vol. 2015, article ID 834217
14. Aymen, F., Mahmoudi, C. (2019): A Novel Energy Optimization Approach for Electrical Vehicles in a Smart City, *Energies*, vol. 12 (929)
15. Cai, B.Y., Alvarez, R., Sit, M., Duarte, F., Ratti, C. (2019): Deep Learning-Based Video System for Accurate and Real-Time Parking Measurement, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 5, str. 7693 – 7701
16. Calvo, P. (2020): The ethics of Smart City (EoSC): moral implications of hyperconnectivity, algorithmization and the datafication of urban digital society, *Ethics and Information Technology*, vol. 22, str. 141 – 149
17. Cao, J., Cao, M., Wang, J., Yin, C., Wang, D., Vidal, P.P. (2019): Urban noise recognition with convolutional neural network, *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, str. 29021 – 29041
18. Castelli, M., Sormani, R., Trujillo, L., Popović, A. (2017): Predicting per capita violent crimes in urban areas: an artificial intelligence approach, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 8, str. 29 – 36
19. Chen, M., Miao, Y., Jian, X., Wang, X., Humar, I. (2019): Cognitive-LPWAN: Towards Intelligent Wireless Services in Hybrid Low Power Wide Area Networks, *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, vol. 2, no. 3, str. 402 – 417
20. Chen, Q., Wang, W., Wu, F., De, S., Zhang, B., Huang, X. (2019): A Survey on an Emerging Area: Deep Learning for Smart City Data, *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, vol. 3, no. 5, str. 392 – 410
21. Choudhury, S. K., Padhy, R. P., Sangaiah, A. K., Sa, P. K., Muhammad, K., Bakshi, S. (2018): Scale Aware Deep Pedestrian Detection, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 30 (3552)
22. De Paz, J. F., Bajo, J., Rodriguez, S., Villarrubia, G., Corchado, J. M. (2016): Intelligent system for lighting control in smart cities, *Information Sciences*, vol. 372, str. 241 – 255

23. Dennis, L. A., Slavkovik, M. (2018): Machines That Know Right And Cannot Do Wrong: The Theory and Practice of Machine Ethics, IEEE Intelligent Informatics Bulletin, vol. 19, no. 1, str. 8 – 11
24. Dilawar, N., Majeed, H., Beg, M. O., Ejaz, N., Muhammad, K., Mehmood, I., Nam, Y. (2018): Understanding Citizen Issues through Reviews: A Step towards Data Informed Planning in Smart Cities, Applied Sciences, vol. 8 (1589)
25. Diro, A. A., Chilamkurti, N. (2017): Distributed Attack Detection Scheme using Deep Learning Approach for Internet of Things, Future Generation Computer Systems
26. El-Wakeel, A. S., Li, J., Noureldin, A., Hassanein, H. S., Zorba, N. (2018): Towards a Practical Crowdsensing System for Road Surface Conditions Monitoring, IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, no. 6, str. 4672 – 4685
27. Eldrandaly, K. A., Abdel-Basset, M., Abdel-Fatah, L. (2019): PTZ-Surveillance coverage based on artificial intelligence for smart cities, International Journal of Information Management, vol. 49, str. 520 – 532
28. Etzioni, A., Etzioni, E. (2016): AI assisted ethics, Ethics and Information Technology, vol. 18, str. 149 – 156
29. Falco, G., Viswanathan, A., Caldera, C., Shrobe, H. (2018): A Master Attack Methodology for an AI-Based Automated Attack Planner for Smart Cities, IEEE Access, vol. 6, str. 48360 – 48378
30. Ferrara, E., Fragale, L., Fortino, G., Song, W., Perra, C., Di Mauro, M., Liotta, A. (2019): An AI Approach to Collecting and Analyzing Human Interactions With Urban Environments, IEEE Access, vol. 7, str. 141476 – 141486
31. Gomedede, E., de Barros, R. M., de Souza Mendes, L. (2020): Use of Deep Multi-Target Prediction to Identify Learning Styles, Applied Sciences, vol. 10 (1756)
32. Gomedede, E., Gaffo, F. H., Brigano, G. U., de Barros, R. M., de Souza Mendes, L. (2018): Application of Computational Intelligence to Improve Education in Smart Cities, Sensors, vol. 18 (267)
33. Gomez, C. A., Shami, A., Wang, X. (2018): Machine Learning Aided Scheme for Load Balancing in Dense IoT Networks, Sensors, vol. 18 (3779)
34. Gong, Z., Li, X., Liu, J., Gong, Y. (2019): Machine learning in explaining nonprofit organizations' participation: a driving factors analysis approach, Neural Computing and Applications, vol. 31, str. 8267 – 8277

35. Hossem, M. I., Michael, G. K. O., Connie, T., Lau, S. H., Hossain, F. (2019): Smartphone-Based Context Flow Recognition for Outdoor Parking System with Machine Learning Approaches, *Electronics*, vol. 8 (784)
36. Huang, J., Deng, Y., Yang, Q., Sun, J. (2016): An Energy-Efficient Train Control Framework for Smart Railway Transportation, *IEEE Transaction on Computers*, vol. 65, no.5, str. 1407 – 1417
37. Huang, Z., Tang, J., Shan, G., Ni, J., Chen, Y., Wang, C. (2019): An Efficient Passenger-Hunting Recommendation Framework With Multitask Deep Learning, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 5, str. 7713 – 7721
38. Hurst, W., Montanez, C. A. C., Shone, N., Al-Jumeily, D. (2020): An Ensemble Detection Model Using Multinomial Classification of Stochastic Gas Smart Meter Data to Improve Wellbeing Monitoring in Smart Cities, *IEEE Access*, vol. 8, str. 7877 – 7898
39. Hwang, S., Lee, Z., Kim, J. (2019): Real-Time Pedestrian Flow Analysis Using Networked Sensors for a Smart Subway System, *Sustainability*, vol. 11 (6560)
40. Idowu, S., Saguna, S., Ahlund, C., Schelen, O. (2016): Applied machine learning: Forecasting heat load in district heating system, *Energy Buildings*, vol. 133, str. 478 – 488
41. Iqbal, R., Doctor, F., More, B., Mahmu, S., Yosuf, U. (2020): Big data analytics: Computational intelligence techniques and application areas, *Technological Forecasting & Social Change*
42. Jung, D., Tuan, V. T., Tran, D. Q., Park, M., Park, S. (2020): Conceptual Framework of an Intelligent Decision Support System for Smart City Disaster Management, *Applied Sciences*, vol. 10 (666)
43. Ke, R., Zhung, Y., Pu, Z., Wang, Y. (2020): A Smart, Efficient, and Reliable Parking Surveillance System With Edge Artificial Intelligence on IoT Devices, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*
44. Ke, X., Zhang, Y. (2020): Fine-grained Vehicle Type Detection and Recognition Based on Dense Attention Network, *Neurocomputing*
45. Khan, S., Muhammad, K., Mumtaz, S., Baik, S. W., de Albuquerque, V. H. C. (2019): Energy-Efficient Deep CNN for Smoke Detection in Foggy IoT Environment, *IEEE Internet of Things Journal*, vol, 6, no. 6, str. 9237 – 9245

46. Kim, H., Ben.Othman, J. (2020): Toward Integrated Virtual Emotion System with AI Applicability for Secure CPS-Enabled Smart Cities: AI-Based Research Challenges and Security Issues, *IEEE Network*
47. Kumar Medapati, P., Tejo Murthy, P. H. S., Sridhar, K. P. (2019): LAMSTAR:For IoT-based face recognition system to manage the safety factor in smart cities, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*
48. Li, D., Deng, L., Cai, Z., Franks, B., Yao, X. (2018): Intelligent Transportation System in Macao Based on Deep Self-Coding Learning, *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, vol. 14, no. 7, str. 3253 – 3260
49. Liang, F., Hatcher, W. G., Liao, W., Gao, W., Yu, W. (2019): Machine Learning for Security and the Internet of Things: The Good, the Bad, and the Ugly, *IEEE Access*, vol. 7, str. 158126 – 158147
50. Lin, W., Huangfu, Y., Lima, N., Jobson, B., Kirk, M., O’Keeffe, P., Pressley, S. H., Walden, V., Lamb, B., Cook, D. J. (2017): Analyzing the Relationship between Human Behavior and Indoor Air Quality, *Sensor and Actuator Networks*, vol. 6 (13)
51. Liu, C. H., Chen, Z., Zhan, Y. (2019): Energy-Efficient Distributed Mobile Crowd Sensing: A Deep Learning Approach, *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 37, no. 6, str. 1262 – 1276
52. Liu, Y., Zhang, W., Pan, S., Li, Y., Chen, Y. (2020): Analyzing the robotic behaviour in a smart city with deep enforcement and imitation learning using IoRT, *Computer Communications*, vol. 150, str. 346 – 356
53. Liu, Y., Guo, B., Li, N., Zhang, J., Chen, J., Zhang, D., Liu, Y., Yu, Z., Zhang, S., Yao, L. (2019): DeepStore: An Interaction-Aware Wide&Deep Model for Store Site Recommendation With Attentional Spatial Embeddings, *IEEE Internet Of Things Journal*, vol. 6, no. 4, str. 7319 – 7333
54. Liu, Y., Yang, C., Jang, L., Xie, S., Zhang, Y. (2019): Intelligent Edge Computing for IoT-Based Energy Management in Smart Cities, *IEEE Network*
55. Mannion, P., Duggan, J., Howley, E. (2015): Parallel Reinforcement Learning for Traffic Signal Control, *Procedia Computer Science*, vol. 52, str. 956 – 961
56. Manzanilla-Salazar, O. G., Malandra, F., Mellah, H., Wette, C., Sanso, B. (2020): A Machine Learning Framework for Sleeping Cell Detection in a Smart-City IoT Telecommunications Infrastructure, *IEEE Access*, vol. 8, str. 61213 – 61225

57. Martinez Garcia, J., Zoeke, D., Vossiek, M. (2018): MIMO-FMCW Radar-Based Parking Monitoring Application With a Modified Convolutional Neural Network With Spatial Priors, *IEEE Access*, vol. 6, str. 41391 - 41398
58. Miraftabzadeh, S. A., Rad, P., Choo, K. K. R., Jamshidi, M. (2018): A Privacy-Aware Architecture at the Edge for Autonomous Real-Time Identity Reidentification in Crowds, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 4, str. 2936 – 2946
59. Mo, X., Zhang, L., Li, H., Qu, Z. (2019): A Novel Air Quality Early-Warning System Based on Artificial Intelligence, *Environmental Research and Public Health*, vol. 16 (3505)
60. Mohanta, B., Das, P., Pantaik, S. (2019): Healthcare 5.0: A paradigm shift in digital healthcare system using Artificial Intelligence, IOT and 5G Communication, *ICAML*
61. Niu, X., Zhu, Y., Cao, Q., Zhang, X., Xie, W., Zheng, K. (2015): An Online-Traffic-Prediction Based Route Finding Mechanism for Smart City, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol 2015, article ID 970256
62. Obinikpo, A. A., Kantarci, B. (2017): Big Sensed Data Meets Deep Learning for Smarter Health Care in Smart Cities, *Sensor and Actuator Network*, vol. 6 (26)
63. Liu, C. H., Chen, Z., Zhan, Y. (2019): Energy-Efficient Distributed Mobile Crowd Sensing: A Deep Learning Approach, *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 37, no. 6, str. 1262 – 1276
64. Park, S., Lee, S., Park, S., Park, S. (2019): AI-Based Physical and Virtual Platform with 5-Layered Architecture for Sustainable Smart Energy City Development, *Sustainability*, vol. 11 (4479)
65. Ping, P., Xu, G., Kumala, E., Gao, J. (2020): Smart Street Litter Detection and Classification Based on Faster R-CNN and Edge Computing, *International Journal of Software Engineering*, vol. 30, no. 4, str. 537 – 553
66. Ponce, H., Gutierrez, S. (2018): An indoor predicting climate conditions approach using Internet-of-Things and artificial hydrocarbon networks, *Measurement*
67. Qin, L., Yu, N., Zhao, D. (2018): Applying the Convolutional Neural Network Deep Learning Technology to Behavioural Recognition in Intelligent Video, *Tecnical Gazzette*, vol. 25, str. 528 – 535
68. Qiu, J., Du, L., Zhang, D., Su, S., Tian, Z. (2020): Nei-TTE: Intelligent Traffic Time Estimation Based on Fine-Grained Time Derivation of Road Segments for Smart City, *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, vol. 16, no. 4, str. 2659 – 2666

69. Rojek, I., Studzinski, J. (2019): Detection and Localization of Water Leaks in Water Nets Supported by an ICT System with Artificial Intelligence Methods as a Way Forward for Smart Cities, *Sustainability*, vol. 11 (518)
70. Roldan, J., Boubeta-Puig, J., Martinez, L. J., Ortiz, G. (2020): Integrating Complex Event Processing and Machine Learning: an Intelligent Architecture for Detecting IoT Security Attacks, *Expert Systems With Applications*
71. Sanam, T. F., Godrich, H. (2020): A Multi-View Discriminant Learning Approach for Indoor Localization Using Amplitude and Phase Features of CSI, *IEEE Access*, vol. 8, str. 55947 – 55959
72. Serban, A. C., Lytras, A. M. D. (2020): Artificial Intelligence for Smart Renewable Energy Sector in Europe - Smart Energy Infrastructures for Next Generation Smart Cities, *IEEE Access*, vol. 8, str. 77364 – 77377
73. Shen, M., Tang, X., Zhu, L., Du, X., Guizani, M. (2019): Privacy-Preserving Support Vector Machine Training Over Blockchain-Based Encrypted IoT Data in Smart Cities, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 5, str. 7702 – 7712
74. Sholla, S., Mir, R. N., Chishti, M. A. (2020): A neuro fuzzy system for incorporating ethics in the internet of things, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*
75. Shousong, C., Xiaomin, G., Xiaoguang, W., Ying, C. (2019): Research on Urban Land Price Assessment Based on Artificial Neural Network Model, *IEEE Access*, vol. 7, str. 180738 – 180748
76. Shu, W., Cai, K. (2019): A SVM Multi-Class Image Classification Method Based on DE and KNN in Smart City Management, *IEEE Access*, vol. 7, str. 132775 – 132785
77. Talamo, M., Valentini, F., Dimitri, A., Allegrini, I. (2020): Innovative Technologies for Cultural Heritage. Tattoo Sensors and AI: The New Life of Cultural Assets, *Sensors*, vol. 20 (1909)
78. Le, L.T., Nguyen, H., Dou, J., Zhou, J. (2019): A Comparative Study of PSO-ANN, GA-ANN, ICA-ANN, and ABC-ANN in Estimating the Heating Load of Buildings' Energy Efficiency for Smart City Planning, *Applied Sciences*, vol. 9 (2630)
79. Le, L.T., Nguyen, H., Zhou, J., Dou, J., Moayedi, H. (2019): Estimating the Heating Load of Buildings for Smart City Planning Using a Novel Artificial Intelligence Technique PSO-XGBoost, *Applied Sciences*, vol. 9 (2714)

80. Vazquez-Canteli, J., Ulyanin, S., Kampf, J., Nagy, Z. (2018): Fusing TensorFlow with Building Energy Simulation for Intelligent Energy Management in Smart Cities, *Sustainable Cities and Society*
81. Venkatesh, J., Aksanli, B., Chan, C. S., Akyurek, S. A., Simunic Rosing, T. (2018): Modular and Personalized Smart Health Application Design in a Smart City Environment, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, str. 614 – 623
82. Wan, C. H., Hwang, M. C. (2018): Value-based deep reinforcement learning for adaptive isolated intersection signal control, *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 12 (9), str. 1005 – 1010
83. Wang, S. (2019): Smart data mining algorithm for intelligent education, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*
84. Wang, H., Xue, Q., Cui, T., Li, Y., Zeng, H. (2020): Cold Start Problem of Vehicle Model Recognition under CrossScenario Based on Transfer Learning, *Computers, Materials & Continua*, vol. 63, no. 1, str. 337 – 351
85. Wu, X., Park, Y., Li, A., Huang, X., Xiao, F., Usmani, A., Huang, X., (2020): Smart Detection of Fire Source in Tunnel Based on the Numerical Database and Artificial Intelligence, *Fire Technology*
86. Xiong, M., Chen, D., Chen, J., Chen, J., Shi, B., Liang, C., Hu, R. (2017): Person Re-identification with Multiple Similarity Probabilities Using Deep Metric Learning for Efficient Smart Security Applications, *Journal of Parallel and Distributed Computing*
87. Xu, R., Cheng, Y., Liu, Z., Xie, Y., Yang, Y. (2020): Improved Long Short-Term Memory based Anomaly Detection with Concept Drift Adaptive Method for Supporting IoT Services, *Future Generation Computer Systems*
88. Yao, H., Gao, P., Wang, J., Zhang, P., Jiang, C., Han, Z. (2019): Capsule Network Assisted IoT Traffic Classification Mechanism for Smart Cities, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 5, str. 7515 – 7525
89. Yassine, A., Singh, S., Alamri, A. A. (2017): Mining Human Activity Patterns From Smart Home Big Data for Health Care Applications, *IEEE Access*, vol. 5, str. 13131 – 13141
90. Zhang, P., Zhao, Q., Gao, J., Li, W., Lu, J. (2019): Mining Human Activity Patterns From Smart Home Big Data for Health Care Applications, *IEEE Access*, vol. 7, str. 63550 – 63563

91. Zhang, Q., Zhou, D., Zeng, X. (2017): HeartID: A Multiresolution Convolutional Neural Network for ECG-Based Biometric Human Identification in Smart Health Applications, *IEEE Access*, vol. 5, str. 11805 – 11816
92. Zhao, B., Teo, Y. S., Ng, W. S., Ng, H. H. (2019): Data-driven next destination prediction and ETA improvement for urban delivery fleets, *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 13 (11), str. 1624 – 1635
93. Zhao, L., Wang, J., Liu, J., Kato, N. (2019): Routing for Crowd Management in Smart Cities: A Deep Reinforcement Learning Perspective, *IEEE Communications Magazine*
94. Zhou, T., Shen, J., He, D., Vijayakumar, P., Kumar, N. (2020): Human-in-the-Loop-Aided Privacy-Preserving Scheme for Smart Healthcare, *IEEE Transactions On Emerging Topics In Computational Intelligence*

Ostala literatura

1. Bakıcı, T., Almirall, E., Wareham, J. (2012): A Smart City Initiative: The Case of Barcelona, *Journal of the Knowledge Economy*, 2 (1), str. 1 – 14.
2. Kofod-Petersen, A. (2015): How to do a Structured Literature Review in computer science
3. Kourtiti, K., Nijkamp, P. (2012): Smart Cities in the Innovation Age, *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25 (2), str. 93–95.
4. Guan, L. (2012): Smart Steps To A Battery City, *Government News*, 32 (2) str. 24–27.
5. Marsal-Llacuna, M.L., Colomer-Llinas, J., Melendez-Frigola, J. (2014): Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative, *Technological Forecasting and Social Change*
6. Palka, D., Brodny, J., Rizaoglu, T., Bagci, U., Maščenik, J. (2018): Literature Research in the Field of Technology Assessment Using a Tool of a Systematic Literature Review, *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 1, str. 109-115.
7. Rjab, A.B., Mellouli, S. (2018): Smart cities in the era of artificial intelligence and internet of things: literature review from 1990 to 2017, *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age*
8. Rjab, A.B., Mellouli, S. (2019). Artificial Intelligence in Smart Cities: Systematic Literature Network Analysis. *ICEGOV2019*.

9. Ruhlandt, R.W. (2018): The governance of smart cities: A systematic literature review, *Cities*, 81, str. 1-23.
10. Webster, J., & Watson, R. T. (2002): Analyzing the past to prepare for the future : Writing a literature review, *MIS Quarterly*, 26 (2) str. 13–23.
11. Wolfswinkel, J. F., Furtmueller, E., Wilderom, C. P. M. (2013): Using grounded theory as a method for rigorously reviewing literature, *European Journal of Information Systems*, 22 (1), str. 45–55.
12. 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, 1473
13. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/definition-artificial-intelligence-main-capabilities-and-scientific-disciplines> pristupljeno 8.6.2020.
14. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/applying-artificial-intelligence-for-social-good> pristupljeno 8.6.2020.
15. <http://www.prisma-statement.org/> pristupljeno 10.7.2020.
16. <https://www.vosviewer.com/> pristupljeno 31.8.2020.

SAŽETAK

Porast udjela gradskog stanovništva sa sobom je donio mnoge klimatske, tehnološke i ekonomske promjene koje mogu nepovoljno utjecati na kvalitetu života u gradu. Kao odgovor na to nastao je koncept pametnog grada koji primjenjuje informacijske i komunikacijske tehnologije kako bi umanjio negativne efekte na gradove i njihove stanovnike. Jedna od takvih tehnologija je umjetna inteligencija koja se ubrzano razvija i ima važnu ulogu u stvaranju inteligentnih sustava. Uočavanjem raznih prednosti koje korištenje umjetne inteligencije u pametnim gradovima može donijeti navela je mnogobrojne znanstvenike i istraživače da daju svoj doprinos pisanjem znanstvenih članaka s ciljem očuvanja gradova i unapređenja gradskih usluga. Porastom broja članaka korisnicima je mnogo teže doći do željene literature jer je potrebno mnogo više vremena da se iz velikog broja pronađe ona relevantna. Stoga, predstavljen je sustavni pregled literature koji prikazuje znanstvene članke na temu umjetne inteligencije u pametnim gradovima i bazira se konkretno na ulogu, primjenu te izazove i prepreke korištenja umjetne inteligencije u pametnim gradovima.

Ključne riječi: pametni grad, umjetna inteligencija, sustavni pregled literature

SUMMARY

Urbanization has brought many climate, technological and economical changes with the negative impact on the quality of city life. In a response to such issues, the smart city concept was created, applying both information and communication technologies to decrease negative effects upon cities and its residents. Artificial intelligence showed up as a technology with an increasing role in creating intelligent systems. Various advantages of using artificial intelligence in smart cities encourage many scientists and researchers to write scientific articles on this topic. The increasing number of articles complicates users' work making it difficult to find the relevant one. In this paper, the systematic literature review is proposed and focuses precisely on the role, application and challenges of using artificial intelligence in smart cities.

Keywords: smart city, artificial intelligence, systematic literature review