

# Implementacija umjetne inteligencije u rješenja pametnih gradova

---

**Vučetić, Domagoj**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:762484>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**Implementacija umjetne inteligencije  
u rješenja pametnih gradova**

**Završni rad**

**Domagoj Vučetić**

**Osijek, 2022.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac ZIP - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 02.09.2022.

Odboru za završne i diplomatske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Domagoj Vučetić
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	R4295, 26.07.2018.
<b>OIB Pristupnika:</b>	33073802784
<b>Mentor:</b>	Prof. dr. sc. Dominika Crnjac Milić
<b>Sumentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	Stjepan Palm
<b>Naslov završnog rada:</b>	Implementacija umjetne inteligencije u rješenja pametnih gradova
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Umjetna inteligencija (zn. polje računarstvo)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Zadatak rada je opisati dosadašnje spoznaje vezane za primjene umjetne inteligencije sa svrhom razvoja pametnih gradova. Istaknuti probleme i predrasude koje nosi korištenje umjetne inteligencije u pametnim gradovima, te ekonomsku korisnost primjene takve tehnologije. Na primjeru grada Osijeka prikazati njezinu trenutnu primjenu, te ukazati na potencijalna područja kroz koja bi se ta primjena mogla proširiti. Mentorica: Prof.dr.sc. Dominika Crnjac Milić ; Sumentori: Izv.prof.dr.sc. Krešimir Grgić i Stjepan Palm, dipl.inž.el. (Palm design)
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	02.09.2022.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	07.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 08.09.2022.

**Ime i prezime studenta:**

Domagoj Vučetić

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

R4295, 26.07.2018.

**Turnitin podudaranje [%]:**

6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Implementacija umjetne inteligencije u rješenja pametnih gradova**

izrađen pod vodstvom mentora Prof. dr. sc. Dominika Crnjac Milić

i sumentora Izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
2. UMJETNA INTELIGENCIJA .....	2
2.1. Računalni vid .....	5
2.2. Obrada prirodnog jezika (engl. <i>Natural Language Processing</i> , NLP) .....	6
2.3. Reprerentacija znanja .....	6
2.4. Automatizirano rasuđivanje .....	6
2.5. Strojno učenje .....	6
2.6. Robotika .....	7
3. PAMETNI GRAD .....	8
4. UMJETNA INTELIGENCIJA U PAMETNIM GRADOVIMA .....	11
4.1. Pametni dronovi i Internet stvari .....	11
4.1.1. Dronovi i RFID .....	12
4.1.2. Dronovi i 5G mreža .....	15
4.1.3. Optimizacija dronova umjetnom inteligencijom .....	16
4.2. Umreženi zdravstveni sustav .....	18
4.2.1. Implementacija dubokog učenja u umreženu zdravstvenu skrb .....	19
4.3. Ostale primjene umjetne inteligencije .....	24
4.3.1. Umjetna inteligencija u prometnoj infrastrukturi .....	24
4.3.2. Umjetna inteligencija u obrazovanju .....	25
4.3.3. Umjetna inteligencija u zdravstvu .....	26
4.3.4. Umjetna inteligencija u zaštiti okoliša i energetici .....	27
4.3.5. Umjetna inteligencija u sigurnosti građana .....	28
4.4. Nedostatci umjetne inteligencije u pametnim gradovima .....	29
5. OSIJEK KAO PAMETNI GRAD .....	31
5.1. Implementacija AI semafora u grad Osijek .....	32
6. ZAKLJUČAK .....	36
LITERATURA .....	38
SAŽETAK .....	44
SUMMARY .....	45
ŽIVOTOPIS .....	46

# 1. UVOD

Sve dinamičniji i užurbaniji životni ritam te sve veća urbanizacija sa sobom donose razne probleme u određenim područjima života, kao što su sigurnost, promet, ekologija i mnoga druga. Kako bi se ti problemi riješili gradovi su počeli koristiti i implementirati umjetnu inteligenciju u razna područja života. Implementacijom umjetne inteligencije u razna područja života značajno se poboljšava kvaliteta života u gradovima i smanjuju spomenuti problemi.

Posljednjih godina sve više gradova, što hrvatskih tako i svjetskih, ulazi u inicijative pod nazivom pametni gradovi. Pametni gradovi uporabom raznih informacijskih i komunikacijskih tehnologija nastoje poboljšati kvalitetu života svojih stanovnika. Veliku ulogu u osnivanju pametnih gradova ima i umjetna inteligencija koja implementacijom u gradsku infrastrukturu i razna područja grada, kao što su zdravstvo ili promet, značajno poboljšava te dijelove grada. Neki od najboljih svjetskih primjera pametnih gradova su Barcelona i Shanghai.

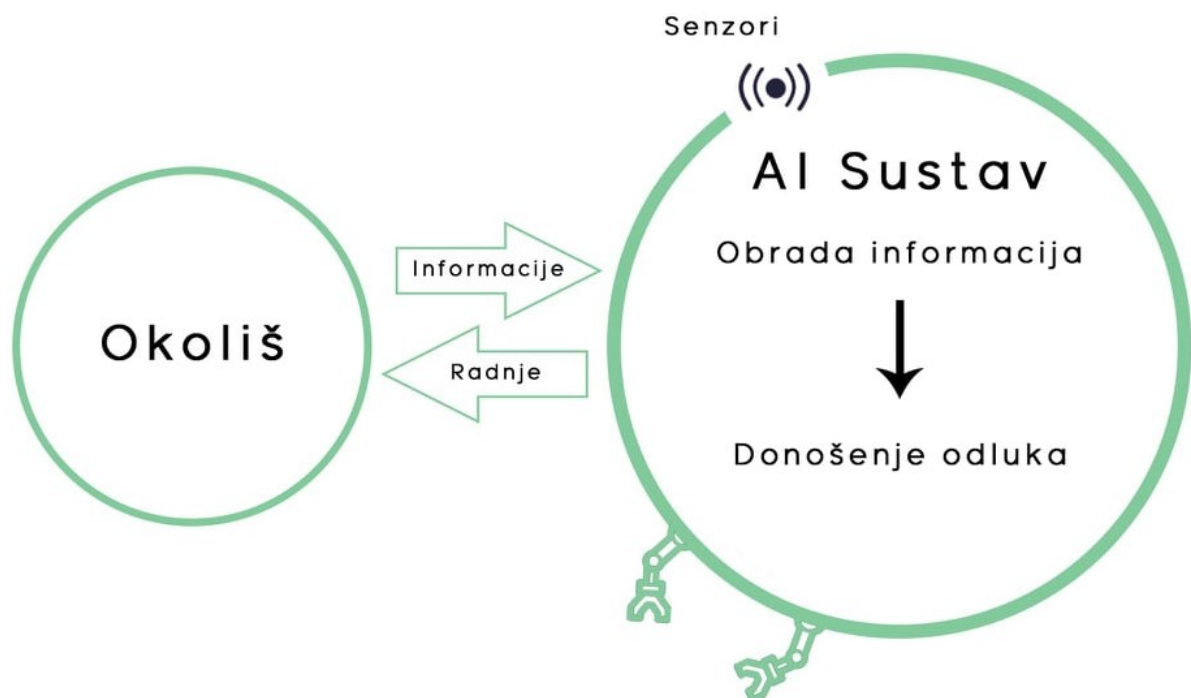
Nakon uvoda, u drugom poglavlju objašnjava se pojam umjetna inteligencija, dok se u trećem poglavlju definira pojam pametni grad, a nakon toga u četvrtom poglavlju se detaljnije navode uloge umjetne inteligencije u pametni gradovi, u kojim područjima i kako se koristi umjetna inteligencija i koje su prednosti i mane. U petom poglavlju opisuje se Osijek kao pametni grad te u kojim područjima se može proširiti uporabu umjetne inteligencije.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak rada je opisati dosadašnje spoznaje vezane za primjene umjetne inteligencije sa svrhom razvoja pametnih gradova. Istaknuti probleme i predrasude koje nosi korištenje umjetne inteligencije u pametnim gradovima, te ekonomsku korisnost primjene takve tehnologije. Na primjeru grada Osijeka prikazati njezinu trenutnu primjenu, te ukazati na potencijalna područja kroz koja bi se ta primjena mogla proširiti.

## 2. UMJETNA INTELIGENCIJA

Pojam umjetna inteligencija (engl. *artificial intelligence*, AI) sadrži izričitu referencu na pojam inteligencija, međutim inteligencija je, kako u strojevima tako i u ljudima, veoma nejasan pojam iako je dugo proučavana od strane psihologa, biologa i neuroznanstvenika. AI istraživači uglavnom koriste pojam racionalnosti, odnosno mogućnosti odabira najbolje radnje kako bi se postigao određeni cilj, s obzirom na informacije iz okoline, raspoložive resurse i određene kriterije optimizacije. Racionalnost nije jedini dio inteligencije, ali je jedan od njenih najznačajnijih dijelova. AI sustavi ostvaraju racionalnost prikupljanjem podataka kroz senzore, te obradom i tumačenjem tih podataka odlučuju o najboljoj radnji i zatim pomoću aktuatora izvode tu radnju čime vjerojatno utječu na okoliš, a time i na senzore kojima prikupljaju podatke, kao što vidimo na slici 1.1. [1]



Sl. 2.1. Shematski prikaz umjetne inteligencije [1]

Umjetna inteligencija se odnosi na sustave koji pokazuju inteligentno ponašanje analiziranjem svog okruženja i radeći određene akcije, uz neki stupanj autonomije, postižu određene ciljeve. AI sustavi temeljeni su isključivo na softveru i djeluju u virtualnom svijetu (npr. glasovni pomoćnici, sustavi za obradu slika, tražilice podataka, sustavi za prepoznavanje govora i lica) ili mogu biti ugrađeni u uređaje (npr. roboti, autonomni automobili i dronovi, aplikacije temeljene na internetu stvari). [1]

Umjetna inteligencija se također opisuje i kao polje proučavanja usmjereno na stvaranju inteligentnih entiteta, s brojnim primjenama u raznim područjima, kao što su rješavanje matematičkih teorema, automatsko upravljanje domovima ili samostalna vožnja automobila. Na visokoj razini postoje četiri pristupa projektiranju takvih inteligentnih sustava. Prvi pristup je stvaranje sustava koji misli kao čovjek, što uključuje aktivnosti kao što su rješavanje problema i učenje. Drugi pristup je dizajniranje sustava koji razmišlja racionalno, usredotočujući se na percepciju, razmišljanje i djelovanje. Treći pristup je kreiranje sustava koji ponašanjem u strojevima pokušava oponašati ljudsko ponašanje. Posljednji, četvrti pristup je da sustav može biti dizajniran da djeluje racionalno, odnosno da pokušava donijeti i učiniti racionalne odluke u nepoznatim okruženjima. [2]

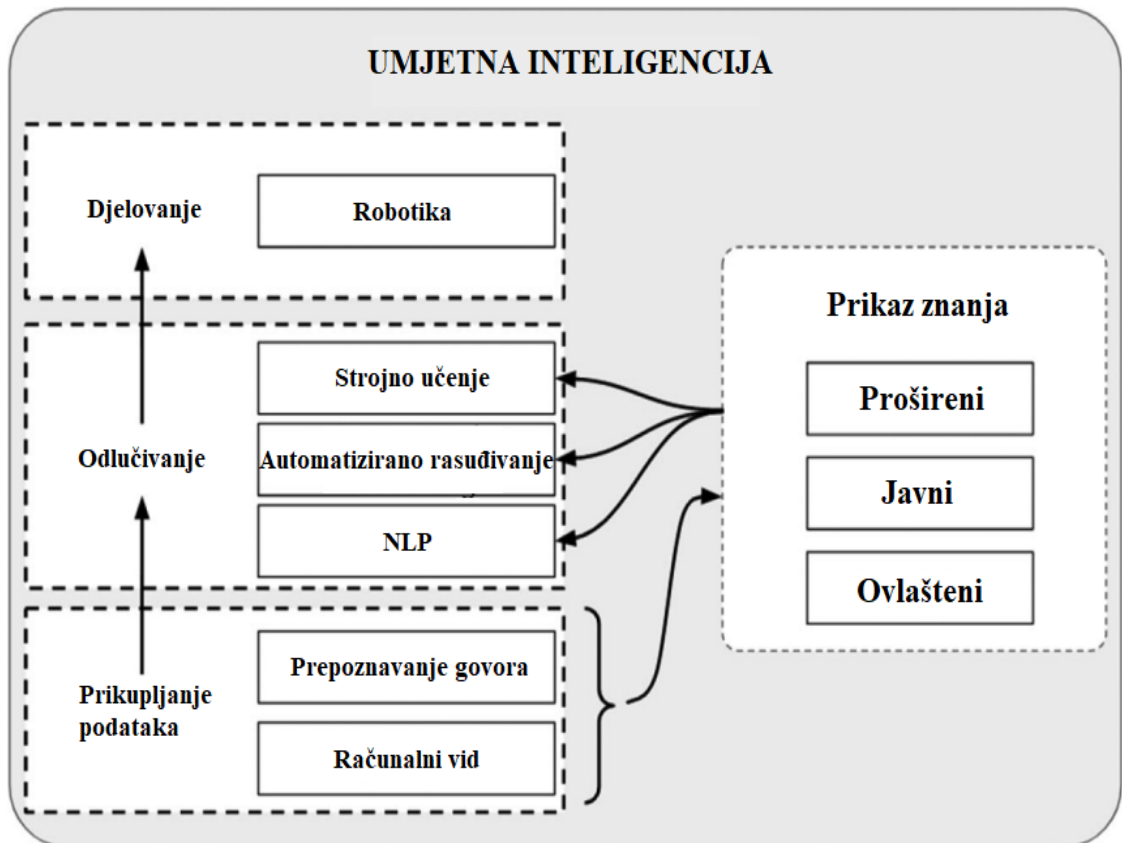
Jedan od glavnih alata koji pomaže u stvaranju i implementaciji umjetne inteligencije u sustave je strojno učenje. Strojno učenje se uvelike oslanja na statističke metode kako bi postiglo svoje ciljeve. Iako AI sustavi mogu percipirati svoje okruženje sa sensorima i poduzimati razne radnje pomoću aktuatora, zapravo je strojno učenje glavna komponenta AI sustava koja omogućuje sustavu učenje iz prethodnih iskustava. Strojno učenje je programiranje računala na način da optimiziraju neki kriterij uspješnosti temeljem podatkovnih primjera ili prethodnog iskustva. Sustavi za strojno učenje se stvaraju kroz proces obuke koji generira novi model koji će predviđati buduće izlaze temeljem novih ulaza. [3]

Glavne komponente umjetne inteligencije su:

- Računalni vid
- Obrada prirodnog jezika (engl. *Natural Language Processing*, NLP)
- Reprzentacija znanja
- Automatizirano rasuđivanje
- Strojno učenje
- Robotika



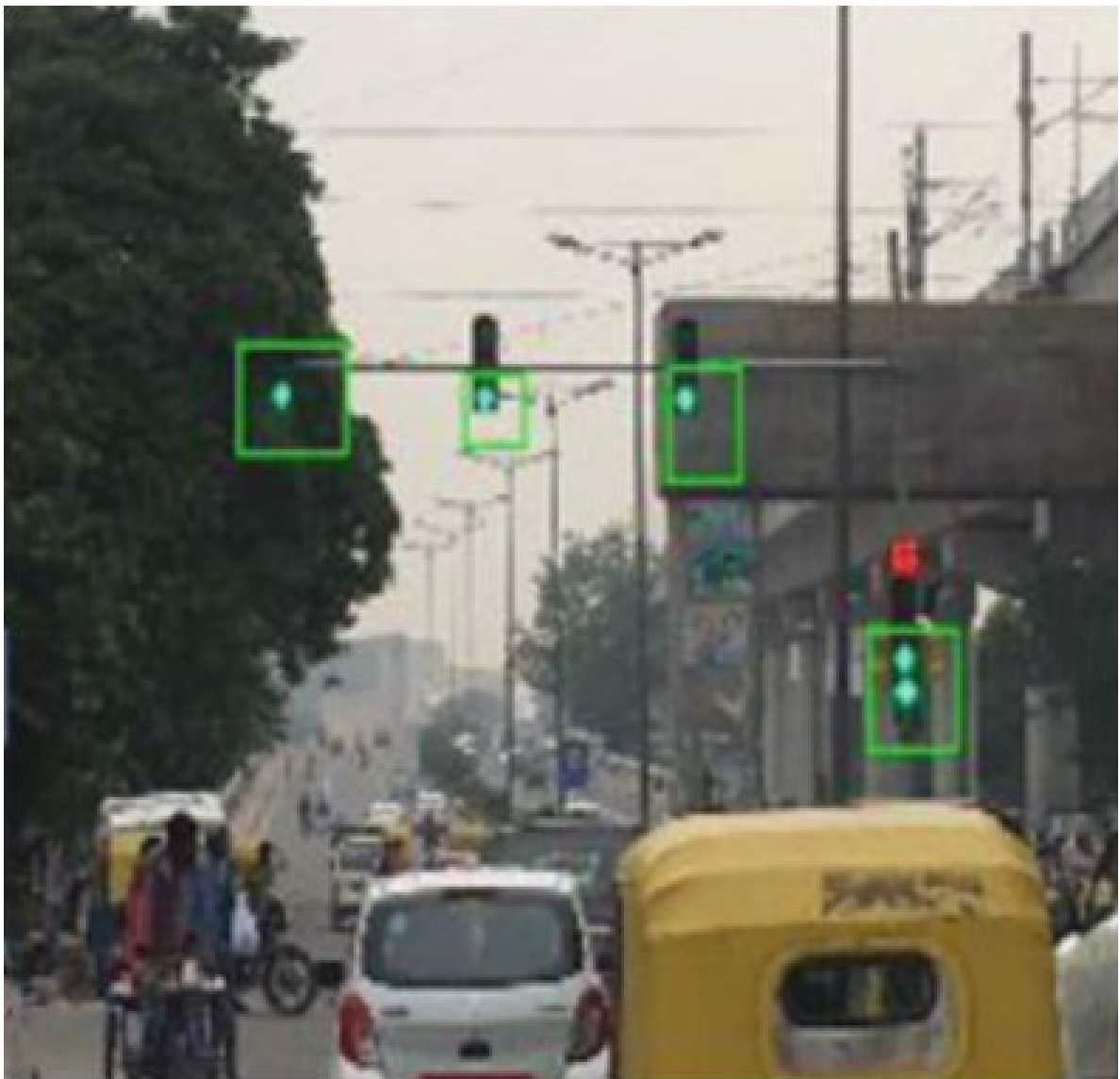
Sustavi umjetne inteligencije pomoću računalnog vida i prepoznavanja govora prikupljaju podatke u bazu podataka, pomoću tih podataka tehnikama obrade prirodnog jezika, automatiziranog rasuđivanja i strojnog učenja donose odluke koje izvršavaju robotikom. Primjer rada AI sustava možemo vidjeti na slici 2.2.



Sl. 2.2. Prikaz rada AI sustava i tijeka informacija [3]

## 2.1. Računalni vid

Računalni vid omogućuje inteligentnim strojevima da percipiraju svoju okolinu i objekte u svojoj okolini kako bi donijeli odluke s namjenom ostvarivanja svojih ciljeva koji mogu biti razni kao što su samostalna vožnja automobila i zaustavljanje na semaforu ili detekcija specifičnih objekata. Cilj računalnog vida nije u jednostavnom projektiranju takozvanih umjetnih očiju, nego u načinu na koji se obrađuje slika da bi se dobila informacija. Poboljšanje računalnog vida je dakle proučavanje i poboljšavanje obrade podataka slika kako bi se postigla što točnije i preciznija detekcija objekata, praćenje kretanja i prepoznavanja radnji. [2][3]



Sl. 2.3. Primjer uporabe računalnog vida za detekciju svjetla semafora [28]

## **2.2. Obrada prirodnog jezika (engl. *Natural Language Processing*, NLP)**

Velika količina svjetskoga znanja pohranjena je kao podatci u tekstualnom formatu te postoje razne tehnike obrade prirodnog jezika odnosno NLP-a, koje se mogu koristiti da se razumije pisani jezik kako bi se unaprijedila strojna inteligencija. Znanje koje nije u tekstualnom obliku može se pretvoriti u tekst pomoću raznih alata, kao što su aplikacije za prepoznavanje govora. Cilj NLP-a je omogućiti umjetno inteligentnim sustavima tumačiti prirodne jezike. [2][3]

## **2.3. Reprezentacija znanja**

Reprezentacija znanja prevodi informacije iz stvarnog svijeta u strojno čitljiv format. Dvije komponente reprezentacije znanja su zaključivanje i rasuđivanje. Postoje brojne tehnike za predstavljanje znanja za AI sustave: liste, stabla, semantičke mreže, sheme, na temelju pravila i na temelju logike. Svaka tehnika, na neki način, koristi hijerarhijsku strukturu, kao što su ontologije. Bez obzira na odabranu metodu, umjetno inteligentni sustavi koriste neku vrstu reprezentacije znanja kako bi učili, pamtili i donosili odluke. [3]

## **2.4. Automatizirano rasuđivanje**

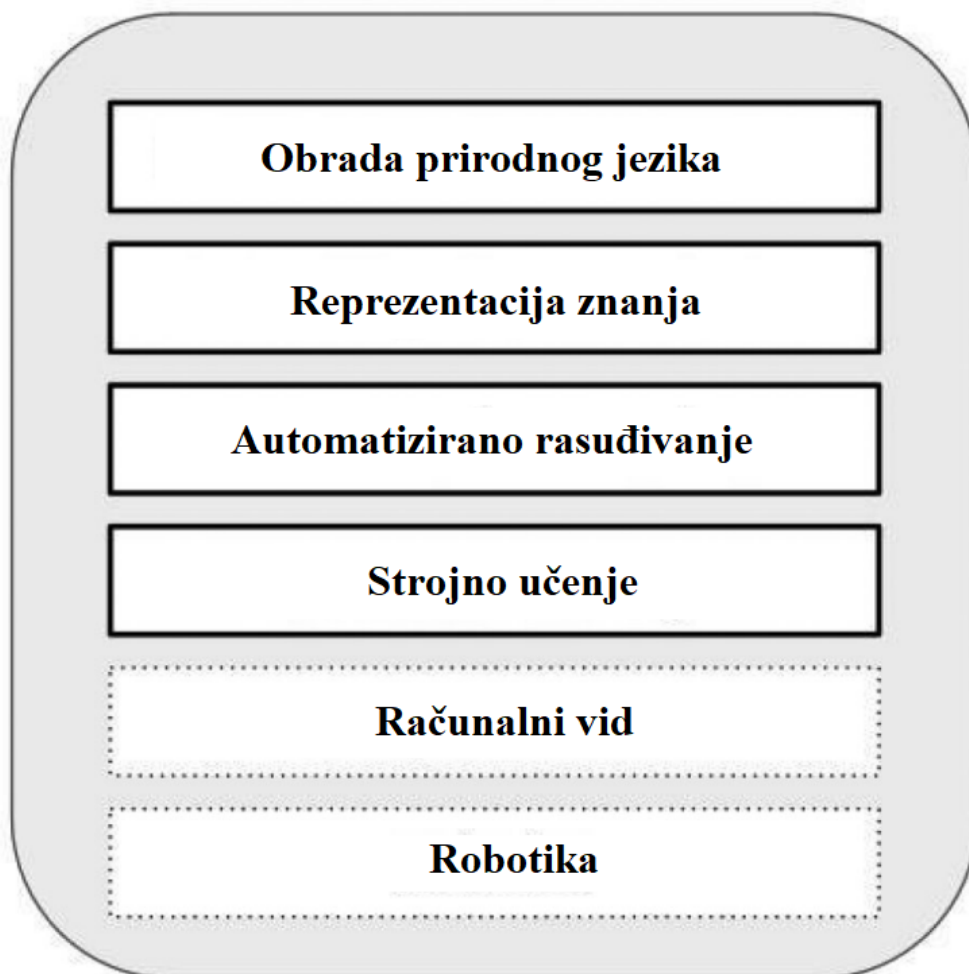
Mehanizmi automatiziranog rasuđivanja služe kako bi sustavu umjetne inteligencije omogućili korištenje informacija kako bi pružili odgovor. Također zvana i kao automatizirana dedukcija, potječe iz dokazivanja matematičkih teorema. Ovo područje istraživanja, omogućuje sustavima da donesu svoje zaključke i obrazloženja te ima isti cilj kao i polje istraživanja zdravog razuma u strojevima. Trenutno stanje umjetne inteligencije sputavano je potrebom treniranja svih mogućih scenarija kako bi sustav bio robustan. [3]

## **2.5. Strojno učenje**

Kao što i samo ime sugerira, strojno učenje je znanost o tome kako se strojevi mogu poboljšati kroz prijašnja iskustva. Strojno učenje oslanja se na prethodno znanje, prikaz podataka i povratne informacije te je ono vjerojatno najkritičnija komponenta umjetne inteligencije. Tehnike koje se koriste u strojnom učenju identične su onima u dva blisko povezana područja, statističkom učenju i rudarenju podataka. Razlike između ova dva područja je uglavnom u njihovim ciljevima, rudarenje podatak ima cilj otkriti relevantne obrasce i znanje i postojeće mase podataka dok je glavni cilj statističkog učenja razumijevanje odnosa u podacima. Glavni cilj strojnog učenja je generiranje specifičnih predviđanja na temelju novih podataka. [3]

## 2.6. Robotika

Robotika je tehnologija koja omogućuje sustavima umjetne inteligencije interakciju sa njihovim okruženjima. Kako robotika pomaže ostvariti ciljeve umjetne inteligencije, tako i umjetna inteligencija poboljšava mogućnosti robotike. Poboljšanja računalnog vida, predikcijskih modela i dubokih neuronskih mreža omogućuje robotima da bolje percipiraju, isplaniraju i izvrše radnju podižući njihovu efikasnost te na taj način poboljšavaju autonomiju strojeva kao što su autonomna vozila. [2][3]



Slika 2.4. Glavne komponente umjetne inteligencije [3]

### 3. PAMETNI GRAD

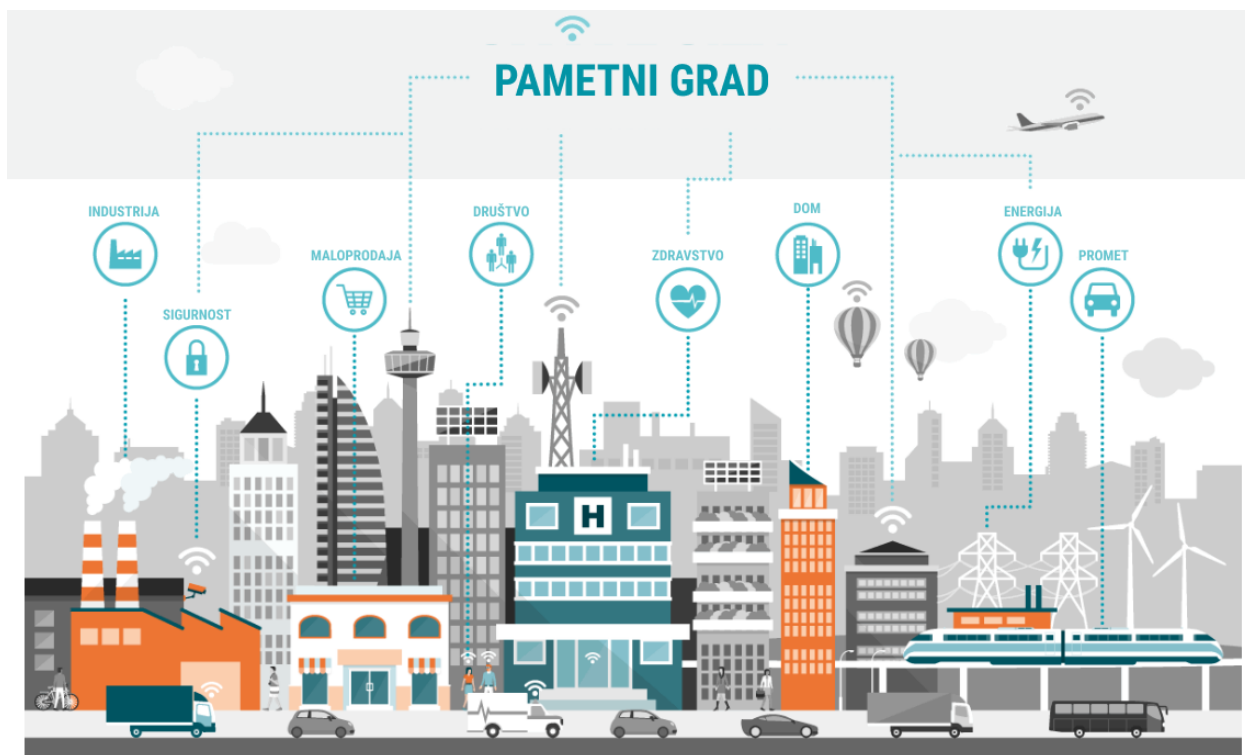
Pojam „pametni grad“ posljednjih godina se sve češće i češće spominje te je kao takav privukao pažnju političara i poduzetnika. No sam pojam nema jednu službenu definiciju kojom bi se opisao, već se često navode funkcije koje obavlja pametni grad i/ili aspekti pametnog grada. Sam pojam je veoma kompleksan i u nastavku će se prikazati nekoliko definicija pametnog grada.

Marshal-Llacuna, Colomer-Llinas i Melendez-Frigola tvrde da ”pametni gradovi nastoje poboljšati urbane performanse grada koristeći podatke, informacije i informacijske tehnologije kako bi 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.“ [4]

Prema Bakici, Almirallu i Warehamu pametni grad je „tehnološki intenzivan i napredan grad koji povezuje ljude, informacije i elemente grada koristeći nove i napredne tehnologije kako bi se stvorio održiviji i zeleniji grad, konkurentnija i inovativnija trgovina te poboljšala kvaliteta života.“ [5]

Prema Kourtitu i Nijkampu „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, infrastrukturnog kapitala, socijalnog kapitala i poduzetničkog kapitala.“ [6]

Glavni cilj pametnih gradova je poboljšanje kvalitete života svojih stanovnika što se postiže raznim procesima, kao što su bolji odnos prema okolišu i ušteda vremena stanovnika. Koje procese i rješenja će grad izabrati ovisi o potrebama grada, njegovim željama i infrastrukturi. Pametni gradovi se temelje na korištenju informacijskih i komunikacijskih tehnologija, povezivanju objekata na internet, korištenju pametnih mreža i umjetne inteligencije, uvođenju inteligentnog transporta i međusobne povezanosti tih tehnologija.



Sl. 3.1. Prikaz područja pametnog grada [7]

Glavna područja pametnih gradova, kao što vidimo na slici 3.1. su:

- Pametna industrija
- Pametno zdravstvo
- Pametno obrazovanje
- Pametan promet
- Pametno upravljanje energijom
- Pametna sigurnost
- Pametni domovi
- Pametno društvo

Jedan od najboljih primjera pametnog grada je španjolski grad Barcelona. U 2010. godini grad je započeo projekt „Barcelona kao grad ljudi“ u kojemu će koristeći nove tehnologije promicati ekonomski razvitak i dobrobit stanovnika. Projekt se bazirao na pet grana: inicijative otvorenih podataka, inicijative održivog rasta grada, društvene inicijative, promicanje suradnje između istraživačkih centara, sveučilišta, privatnih i javnih partnera, pružanje „pametnih usluga“ temeljenih na informacijsko komunikacijskim tehnologijama. Zbog ovog projekta, Barcelona je priznata kao uspješna u razvoju ekosustava u kojem su se urbani razvoj, poslovne mogućnosti i kvaliteta života poboljšali u posljednjim desetljećima. [8]

Shanghai je također jedan od najboljih primjera pametnog grada. On je ekonomsko i financijsko središte Kine, te nudi sve više i više digitaliziranih usluga svojim stanovnicima. Shanghai je jedan od predvodnika razvoja pametnih gradova u svijetu. Neke od strategija Shanghaia kao pametnog grada su digitalni blizanac grada koji ima podatke u stvarnom vremenu i na taj način upomaže u upravljanju imovinom i zaštiti grada te Aplikacija stanovnika u oblaku (engl. *Citizen Cloud App*). Aplikacija je gradska platforma za 1274 javne usluge kao što su kultura, obrazovanje, turizam, prijevoz, zdravstvo, pravne i mnoge druge usluge. Preko aplikacije dnevno se obavi oko 75000 zahtjeva. [9]

Glavni problemi koji se javlja u nastajanju pametnih gradova je financiranje, infrastruktura grada te sigurnosni problemi podataka potrebnih za funkcioniranje pametnog grada. Razni senzori, računalna oprema i njihovo održavanje je veoma skupo. Rad sve te opreme također iziskuje veliku potrošnju električne energije što stvara dodatni trošak za grad, no sva ova inicijalna ulaganja novca vrate se gradu kroz sve prednosti koje pametni grad pruža. Ako infrastruktura grada nije dobro organizirana i dovoljno razvijena stvaranje pametnog grada je veoma teško. Zbog ovoga, mnogi gradovi koji nemaju pogodnu infrastrukturu moraju provoditi značajne prilagodbe, a u nekim slučajevima i izgrađivati novu infrastrukturu. No najveći problem pametnih gradova je sigurnost svih podataka potrebnih za uspješan rad. Pošto za uspješan rad grad treba velike količine podataka te konstantu komunikaciju uređaja mogu se dogoditi propusti te da ti podatci dospiju u krive ruke te budu iskorišteni u loše svrhe kako za grad ali tako i za same stanovnike grada. [10]

## 4. UMJETNA INTELIGENCIJA U PAMETNIM GRADOVIMA

Uporaba umjetne inteligencije podiže pametne gradove na novu razinu te pruža nove prednosti gradu. Umjetna inteligencija prikupljajući razne podatke iz grada, o samome gradu i njegovim građanima i obradom tih informacija podiže kvalitetu života u gradu. Razvoj pametnih gradova usko je povezan s razvojem umjetne inteligencije. Neka područja u kojima umjetna inteligencija ima veliku ulogu su zdravstvo, promet i obrazovanje, a u budućnosti će biti uključena u gotovo sva područja grada.

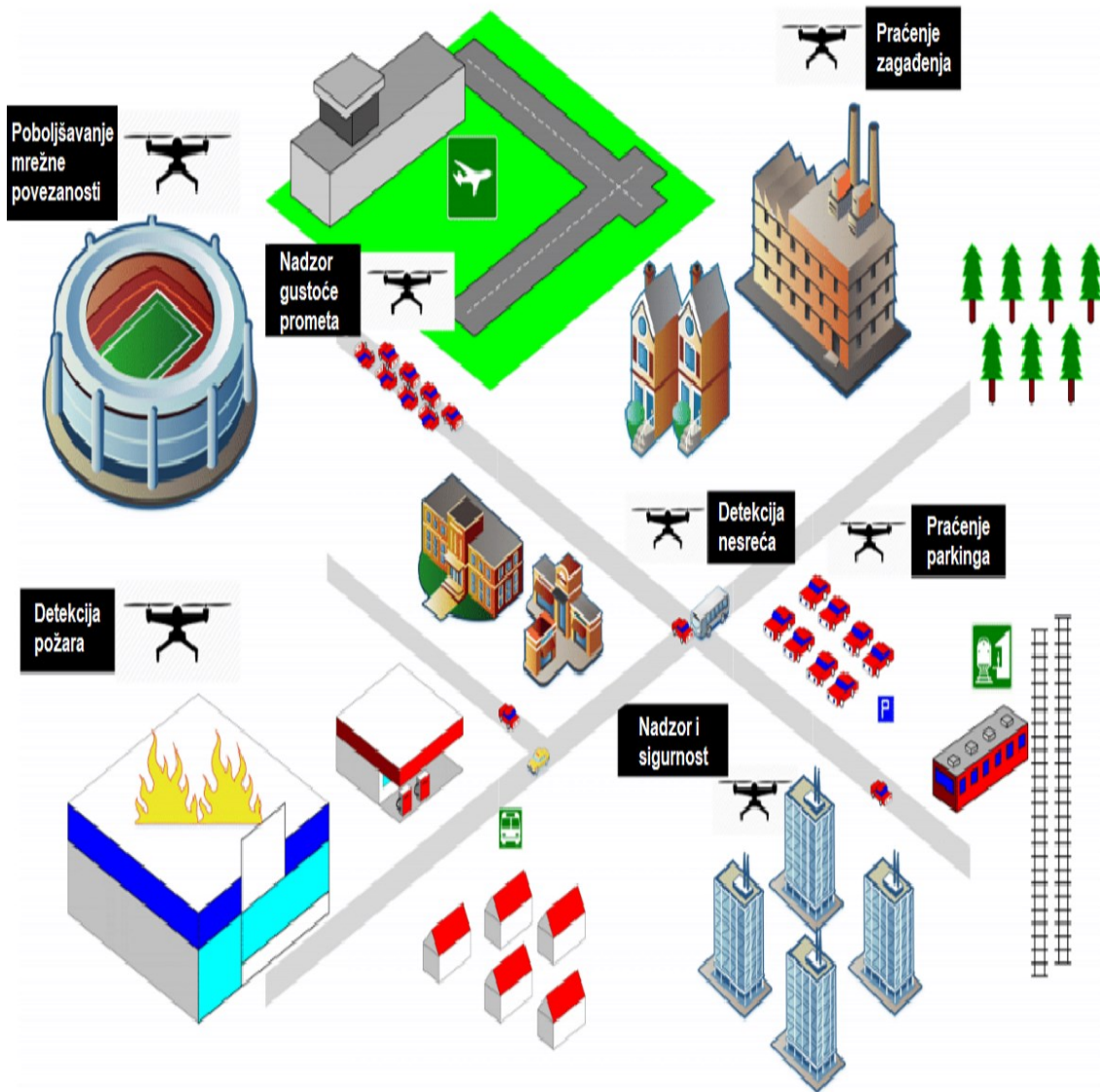
### 4.1. Pametni dronovi i Internet stvari

Dronovi su autonomni leteći roboti koji su povezani s različitim primjenama u civilnom društvu kao što su komunikacije, transport, poljoprivreda, sigurnost i ublažavanje katastrofa, zaštita okoliša, prikupljanje obavještajnih podataka, nadzor i izviđanje. Dronovi postaju sastavni dio pametnih gradova i poboljšavaju cjelokupno životno iskustvo u gradu na razne načine kao što su da prate onečišćenja, dostavljaju pakete, istražuju nesreće, gasi požare, pružanju podršku aktivnostima prve intervencije, dostavljaju lijekove, nadziru promet i gradilišta. Uporabom dronova u kombinaciji s umjetnom inteligencijom može se dodatno dovest do ogromnih sekundarnih prednosti kao što su smanjenje potrošnje energije, očuvanje resursa, smanjenje zagađenja, pristup opasnim područjima i područjima katastrofe te povećanjem spremnosti na hitne slučajeve. Pokretljivost i vidno polje (engl. *line of sight*, LoS) dronova najznačajnije su karakteristike koje igraju ključnu ulogu u okviru Interneta stvari (engl. *Internet of Things*, IoT). Napredak tehnologije u području senzora, obrade podataka i kvalitete baterija napravile su dronove pristupačnijima i efektivnijima. [11]

Dron ima mnoge jedinstvene karakteristike, dinamičan je, jeftin, jednostavan za popravak te je jednostavan i brz za postaviti i obaviti veliku količinu mjerenja s bilo kojeg mjesta u bilo koje vrijeme. Dron je jeftino rješenje za prikupljanje i isporuku informacija inteligentnom mehanizmu ili softveru koji može obaviti traženu analizu podataka (npr. analiza slike ili videa u stvarnom vremenu). Korištenje dronova dramatično će olakšati razvoj poljoprivrede, inspekcije, detekcije zagađenja i katastrofa, hitnih intervencija i mnogo drugih područja. Upravo zbog toga dronovi imaju značajnu ulogu u našem povezivanju sa zajednicom i poboljšanju kvalitete života u pametnim gradovima. Očekuje se da će se broj dronova u zraku, u nadolazećim godinama, drastično porasti. Dronovi također imaju ogroman potencijal da omoguće mnoge aplikacije povezane s civilnim, vojnim i vladinim sektorom i komercijalnim aspektima zbog svoje mogućnosti za učinkovito i efektivno obavljanje složenih zadataka u stvarnom vremenu. Glavne



tehnologije koje omogućuju dronovima sve ovo su radio frekvencijska identifikacija (RFID), senzori i 5G mreže. [11]



Sl. 4.1. Uloga pametnih dronova u pametnim gradovima [11]

#### 4.1.1. Dronovi i RFID

RFID se smatra jednim od najperspektivnijih bežičnih komunikacijskih sustava koji se koristi za Internet stvari. Glavna prednost RFID tehnologije je što ne treba imati liniju vida (engl. *line of sight*, LoS) s drugim uređajem i jer može vrlo jednostavno preslikati stvarni svijet u vizualnu kartu. Glavna ideja korištenja drona je prikupljanje podataka s RFID senzora na određenom području izravnim približavanjem i preuzimanjem izmjerenih i spremljenih podataka.

RFID se sastoji od 2 glavna dijela, oznake i čitača. Oznake sadrže informacije koje šalju pomoću radio valova u čitače, dok čitači na sebi imaju jednu ili više antena koje primaju elektromagnetske signale s oznaka. RFID čitači se također dijele u dvije skupine, fiksne i mobilne. Fiksni čitači sa svojim antenama su postavljeni na specifične lokacije kroz koje prolaze RFID oznake, dok se mobilni čitači mogu prenositi bilo gdje te se upravo mobilni čitači koriste na dronovima. Također postoji i dvije vrste RFID oznaka, aktivne i pasivne. Aktivne oznake imaju vlastiti izvor energije i mogu se očitati sa udaljenosti do stotinjak metara, dok pasivne oznake nemaju svoj izvor energije nego ih napaja elektromagnetska energija sa čitača te se zbog toga mogu očitati samo sa udaljenosti do 25 metara. [12]

Princip rada RFID tehnologije sastoji se od 4 faze:

1. Informacije uređaja su spremljene na oznake
2. Antena sa čitača prima signal s oznake
3. Čitač je bežično povezan s antenom i prima podatke spremljene na oznaku
4. Čitač šalje podatke u bazu podataka, gdje se podatci spremaju i obrađuju



Sl. 4.2. Princip rada RFID tehnologije [13]

Postoje četiri glavna tipa RFID sustava: nisko frekvencijski (engl. *low frequency*, LF), visoko frekvencijski (engl. *high frequency*, HF), ultra visoko frekvencijski (engl. *ultra high frequency*, UHF) i mikrovalni sustavi. Nisko frekvencijski sustavi uobičajeno rade na frekvencijama od 30 kHz do 500 kHz, uglavnom 125 kHz, i imaju domet od nekoliko centimetara do nekoliko metara. Visoko frekvencijski sustavi koriste frekvencije od 3 MHz do 30 MHz što im omogućuje domet od nekoliko centimetara do desetak metara. UHF sustavi mogu biti očitani na udaljenostima do tridesetak metara i tipično rade na frekvencijama od 300 MHz do 960 MHz. Sustavi koji rade s mikrovalovima tipično rade na frekvenciji od 2.45 GHz i imaju domet oko stotinjak metara. [12]

Ova tehnologija izgleda obećavajuće za stvaranje prožimajuće mreže jeftinih senzora sposobnih za mjerenje parametara okoline i pružanje korisnih podataka u slučaju rizičnih uvjeta, kao i za sprječavanje opasnih događaja i upravljanje scenarijima nakon katastrofe.



Sl. 4.3. Primjer drona s prikazom gdje se nalazi RFID antena [14]

#### 4.1.2. Dronovi i 5G mreža

5G je sljedeća generacija mobilne komunikacijske tehnologije dizajnirane za pružanje većeg kapaciteta i veće brzine prijenosa podataka od prethodne generacije 4G odnosno Long Term Evolution (LTE). 5G tehnologija obećava ultra nisku latenciju i ultra visoku pouzdanost, čime se omogućuju inovativne usluge u različitim industrijskim sektorima. Posljednjih godina pojavile su se razne aplikacije, poput virtualne stvarnosti, proširene stvarnosti i usluga temeljenih na oblaku, koje su postale sastavni dio životnog stila nove generacije. U idućih deset godina očekuje se povezivanje 50 milijardi uređaja u sklopu evolucije Interneta stvari (IoT). Senzori, aktuatori, elektronički uređaji, ulična rasvjeta, semafori te mnogi drugi uređaji biti će bežično povezani s internetom, ali i jedni s drugim komunikacijom uređaj s uređajem (engl. *device-to-device*, D2D). 5G tehnologija omogućiti će ultra brzu, pouzdanu i nisko latencijsku komunikaciju povezanih uređaja. 5G aplikacije za naše društvo uključuju e-zdravlje, robotsku komunikaciju, interakciju ljudi i robotike, medije, transport i logistiku, e-učenje, e-upravu, javnu sigurnost, automobilske i industrijske sustave itd. [15]

5G tehnologija sastoji se od mnogo raznih dijelova i tehnologija od kojih su za uporabu s dronovima najbitnije ultra pouzdana nisko latencijska komunikacija (engl. *ultra-reliable low-latency communication*, URLLC) i masovna komunikacija uređaja (engl. *massive machine type communication*, mMTC) omogućavajući dronovima znatno bržu i pouzdaniju komunikaciju kako s drugim uređajima u IoT-u, ali tako i međusobnu komunikaciju. [15]

Ultra pouzdana nisko latencijska komunikacija, URLLC, može smanjiti kašnjenje obrade i vremenske intervale prijenosa podataka te proširiti propusnost blokova radijskih resursa u kojima se prenosi određena količina podataka. URLLC također može izbjeći problem čekanja u redu za prijenos podataka na radio odašiljaču pružajući izravnu komunikaciju uređaja s uređajem (D2D) niske latencije za uređaje u neposrednoj blizini. Da bi se ovo sve postiglo fizička struktura kanala mora biti dizajnirana za brzo dekodiranje na prijemu, a kontroler pristupa medijima (engl. *media access control*, MAC) mora omogućiti trenutni pristup. Također se rizik od sudara signala mora svesti na najmanju moguću mjeru pružanjem dimenzioniranih alokacija resursa s trenutnim pristupom. [16]

Masovna komunikacija uređaja, mMTC, postiže komunikaciju bez preopterećenja pojednostavljuvanjem stanja povezivanja uređaja i pružanjem pristupa kanalu uz minimalno signaliziranje. Također se postiže i povećanje mogućnosti za takozvano spavanje uređaja što smanjuje potrošnju energije i dovodi do dugog vijeka trajanja baterije, omogućavajući uređajima

da rade godinama s malim baterijama. Optički načini prijenosa podataka također su potrebni za pružanje povezanosti pri niskim brzinama. Ova se značajka postiže pružanjem sučelja „kompatibilnog sa spektrom“ za najbolju suradnju s radijskom tehnologijom naslijeđenom iz prethodnih generacija mobilnih mreža. Glavne prednosti mMTC-a su povećana brzina prijenosa podataka i kapacitet do 1 gigabita po sekundi, s latencijom od samo jedne mikrosekunde. mMTC je također namijenjen podršci usluga i aplikacija u nastajanju temeljnih IoT koncepta te će u budućnosti pružiti priliku za implementaciju Interneta svega (engl. *internet of everything*, IoE). [15][16]

#### **4.1.3. Optimizacija dronova umjetnom inteligencijom**

Nedavni napredak umjetne inteligencije napravio je veliki utjecaj u mnogim područjima pa tako i na tehnologiju dronova. Međutim, većina ponuđenih rješenja se u potpunosti oslanja na komercijalni softver ili pruža slabo integracijsko sučelje koje onemogućuje razvoj dodatnih tehnika. To je dovelo do razvitka novog okruženja (engl. *framework*) zvanog višeslojna umjetna inteligencija (engl. *multilayer artificial intelligence*, MLAI). MLAI omogućuje jednostavnu integraciju za AI aplikacije te su se modeli dubokog učenja, temeljeni na MLAI, implementirani za detekciju i praćenje objekata. Kako bi se demonstrirale prednosti MLAI implementirane su dvije tehnike dubokog učenja za detekciju (YOLOv3) i praćenje (DCFNet) objekata. Uporabom ovih tehnika značajno se poboljšava efikasnost dronova.

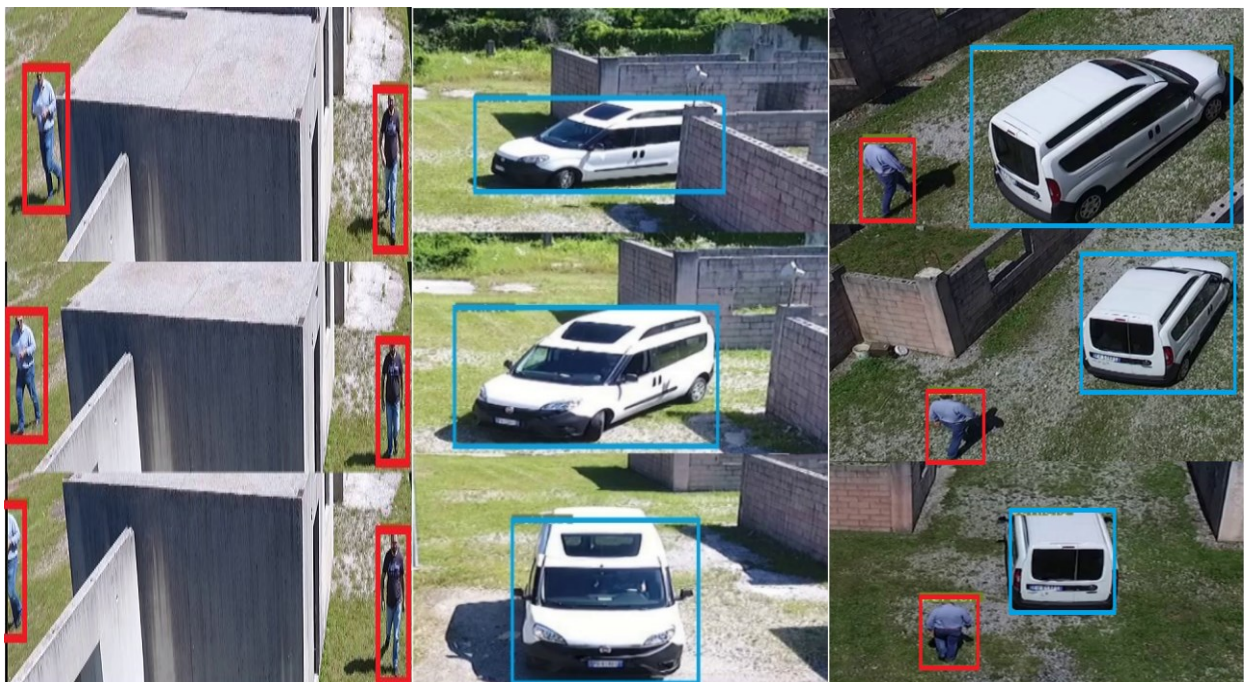
Uporaba MLAI bazira se na uporabi više slojeva u kojemu, prednji sloj omogućuje razvoj korisničkog sučelja kojeg korisnik zapravo vidi i koristi, srednjeg sloja koji omogućava komunikaciju prednjeg i pozadinskog sloja, te pozadinskog sloja koji izvodi metode umjetne inteligencije. Glavne prednosti MLAI su što je prijenosan odnosno svaki sloj može biti na različitim lokacijama unutar okruženja, što je lako izvediv jer se AI uglavnom bazira na Python programskom jeziku koji već ima razvijena AI okruženja kao što su PyTorch i TensorFlow, što omogućuje višestruka korisnička sučelja specifično za uporabu na računalu i specifično za uporabu na mobitelu, te što omogućava agilni razvoj i testiranje jer prednji sloj i pozadinski sloj ne ovise jedan o drugom. [17]

U algoritmima za detekciju, YOLO je jedan od najboljih algoritama posebno za detekciju u stvarnom vremenu. Glavne prednosti algoritma YOLO nad konkurencijom je da je bolji, brži i jači. Već su razvijene tri verzije s značajnim i kontinuiranim napretkom, te je upravo treća verzija konačna i implementirana kao YOLOv3. Ovaj algoritam je značajno brži u detekciji objekata od konkurencije, a njegova točnost u nekim slučajevima je i bolja od konkurencije. [18]

Što se tiče algoritama za praćenje, tehnike temeljene na diskriminativnom korelacijskom filteru (engl. *Discriminative Correlation Filter*, DCF) postale su jedno od najvećih otkrića. Drugim riječima, DCF pristup postat će dominantna i najbolja metoda za online praćenje objekata. Performanse praćenja DCF metode su znatno veće kada ima specifične i dobre značajke. Kako bi se izradile najsuvremenije DCF metode i poboljšale performanse praćenja koriste se višeslojne duboke značajke, jedna od tih metoda, DCFNet, je najlakša i najsuvremenija s najboljim performansama do sada. [19]

Uporaba ovih metoda omogućila je detekciju više objekata u stvarnom vremenu pri 19.65 slika po sekundi (engl. *frames per second*, FPS) i praćenje specifičnog objekta u stvarnom vremenu pri 29.94 slike po sekundi.

Kako bi se testirale performanse YOLOv3 i DCFNet algoritama napravljena su testiranja s tri različita scenarija, u prvom scenariju detekcija i praćenje osobe, u drugome detekcija i praćenje vozila i u trećem detekcija i praćenje osobe i vozila istovremeno. Sva 3 scenarija pokazala su da YOLOv3 algoritam može kontinuirano detektirati, a DCFNet algoritam pratiti osobu i vozilo čak i kada su oni donekle prikriveni. Prikaz sva tri scenarija vidimo na slici 4.4.



Sl. 4.4. Lijevo – scenarij 1, sredina - scenarij 2, desno – scenarij 3 [17]

## 4.2. Umreženi zdravstveni sustav

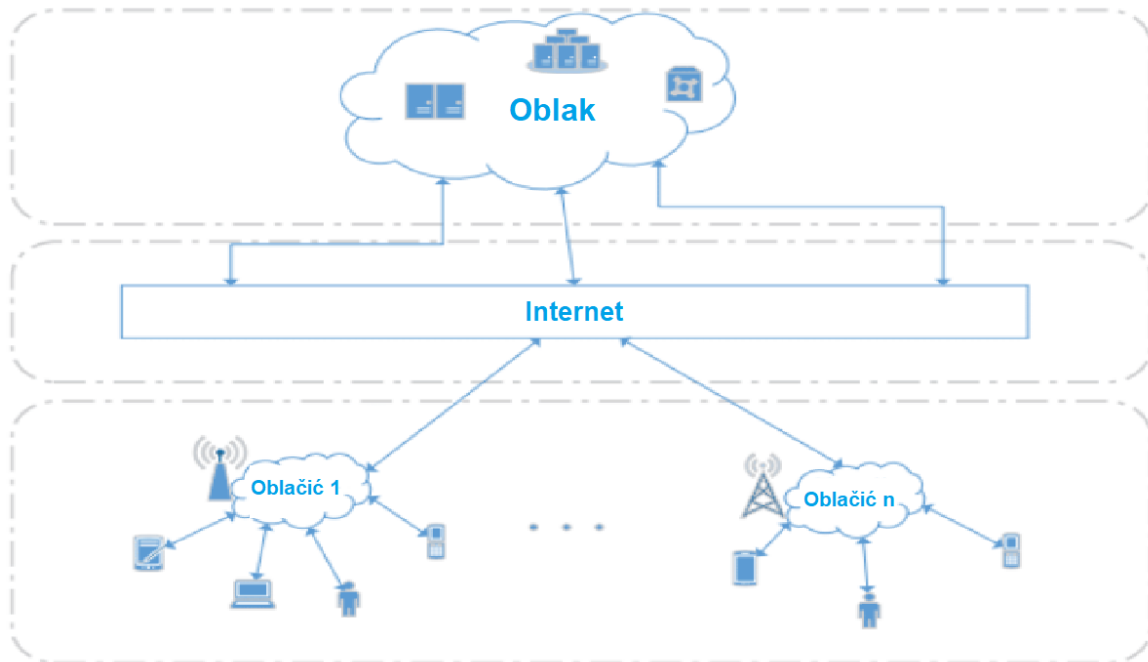
Napredak pametnih gradova također pokreće i transformaciju najveće globalne industrije, zdravstva. Glavni pokretači za razvoj zdravstva je sve veća potreba za sveprisutnom, preventivnom i personaliziranom zdravstvenom skrbi za javnost uz smanjenje rizika i troškova. Mobilno računarstvo u oblaku potencijalno bi moglo zadovoljiti buduće probleme zdravstvene skrbi omogućavajući snimanje i analizu podataka pacijenata u bilo koje vrijeme, na bilo kojem mjestu. Međutim tu se javljaju problemi kao što su latencija, propusnost i pouzdanost mreže ometajući i usporavajući realizaciju sljedeće generacije zdravstvene skrbi.

Pametni gradovi smatraju se glavnim pokretačima transformacije zdravstva, ali i mnogih drugih gradskih industrija. To je zbog činjenice da pametne gradove pokreću ili uključuju integraciju višestrukih gradskih industrija kao što su prijevoz, zdravstvena skrb i obrazovanje s ciljem da svojim građanima osiguraju visoku kvalitetu života.

Cilj umrežene zdravstvene skrbi je pružanje zdravstvenih usluga bez ikakvih geografskih ili vremenskih ograničenja, odnosno omogućiti pružanje zdravstvene usluge bilo kada, bilo gdje i bez ikakvih ograničenja oko lokacije ili mobilnosti pacijenta. Ostvarenje ovog cilja omogućuje skrb na daljinu za pacijente s kroničnim bolestima i bolestima koje zahtijevaju stalni nadzor kao što su srčane bolesti i dijabetes, no suočava se s velikim brojem izazova umrežavanja kao što su pouzdanost i dostupnost usluge, nedostatak radio resursa, kašnjenje komunikacije i potrošnja energije. Najbolje rješenje za ove izazove pokazalo se računarstvo u oblaku (engl. *cloud computing*). [20]

Računarstvo u oblaku omogućuje pristup podacima koji su pohranjeni na oblaku bilo kada i bilo gdje. Konstantna dostupnost podataka rezultirala je pružanjem infrastrukture, platforme i softvera kao usluge. Računarstvo u oblaku može značajno smanjiti troškove umrežavanja zdravstvenog sustava, jer korisnici mogu zakupiti potrebne resurse i naplaćuje im se po utrošenim resursima te također učinkovito koristi resurse koje pruža oblak. Umrežena zdravstvena skrb ima potrebu za praktičnom računalnom snagom, pohranom i mrežnim resursima bez velikih troškova održavanja i operativnih troškova što je dovelo do usvajanja računarstva u oblaku. Postoje razne implementacije računarstva u oblaku, a za umrežavanje zdravstvenog sustava oblačići (engl. *cloudlets*) su se pokazali kao najbolji način. [20]

Oblačići su podatkovni centri u kutiji koji su mogu veoma jednostavno rasporediti i implementirati. Oblačići smanjuju latenciju, a povećavaju propusnost mreže. Zdravstvene aplikacije koje zahtijevaju prikaz videa u stvarnom vremenu, virtualnu i proširenu stvarnost te isporuku sadržaja imati će velike koristi od uporabe oblaka.



Sl. 4.5. Arhitektura mreže oblaka [20]

Oblačići se mogu smatrati kao ekstenzije glavnog oblaka, te su samoupravljivi, jednostavni za implementaciju i integraciju u WiFi pristupne točke ili mobilne bazne stanice. Oblačići su također veoma energetske efikasni. Uglavnom se sastoje od predmemoriranih kopija podataka dostupnih drugdje, uglavnom na glavnome oblaku, stoga kvar oblaka nije katastrofalan. U kombinaciji s 5G mobilnom mrežom, oblaci mogu smanjiti latenciju na manje od jedne milisekunde, poboljšavaju privatnost, pouzdanost, propusnost i energetske efikasnost mreže te omogućavaju lagano proširenje mreže implementacijom dodatnih oblaka. [21]

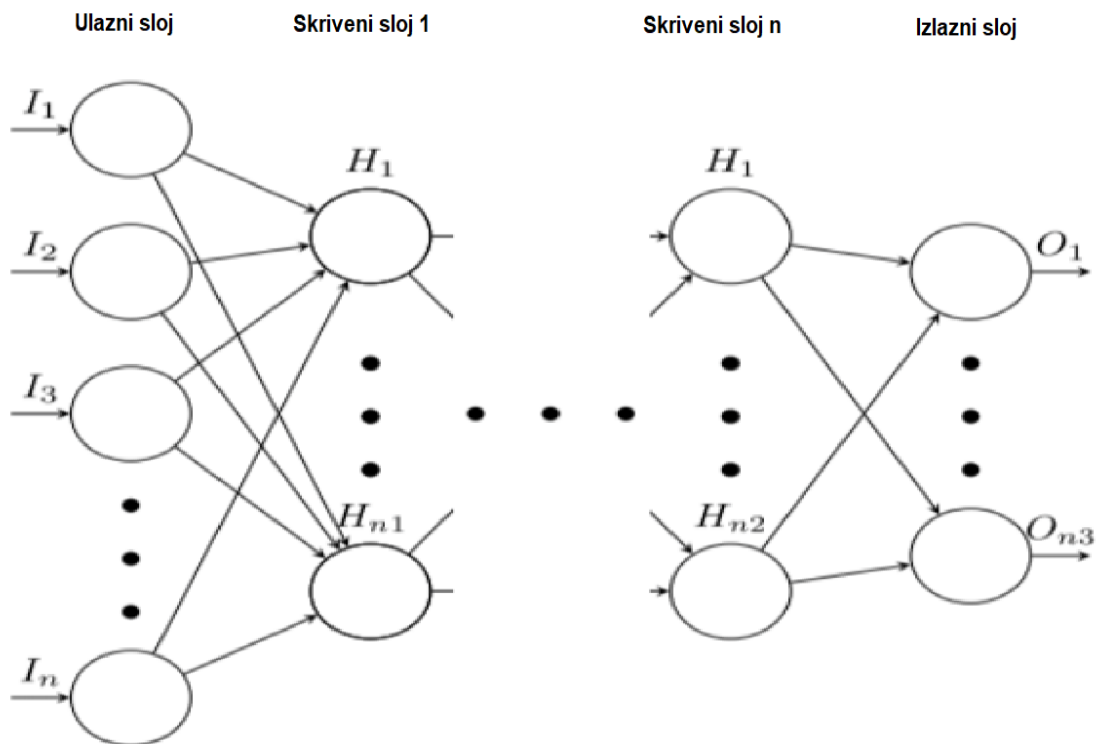
#### 4.2.1. Implementacija dubokog učenja u umreženu zdravstvenu skrb

Duboko učenje (engl. *deep learning*, DL) je grana strojnog učenja i može naučiti različite reprezentacije podataka s više razina apstrakcije uz pomoć računalnih modela. Ti računalni modeli sastoje se od višestrukih slojeva za učenje i prepoznavanje tih podataka. Duboko učenje otkriva složene strukture u velikim skupovima podataka korištenjem algoritama unatragnog prolaza (engl. *backpropagation*) kako bi stroj promijenio svoje unutarnje parametre koji se koriste za izračunavanje reprezentaciju podataka u svakom sloju iz reprezentacije podataka prethodnog sloja.



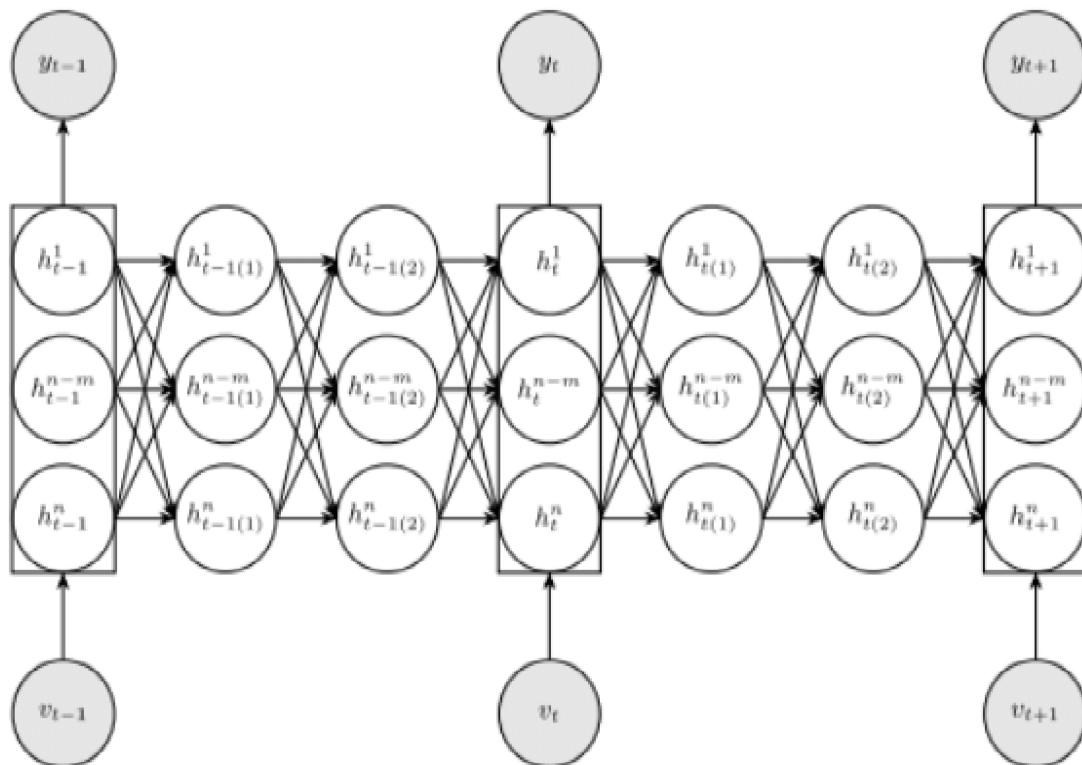
Glavna prednost dubokog učenja je što može otkriti složene značajke između slojeva. Za optimizaciju umreženog zdravstvenog sustava koriste se dvije arhitekture dubokog učenja višeslojni perceptron (engl. *Multi-Layer Perceptron*, MLP) i rekurentna neuronska mreža (engl. *Recurrent Neural Network*, RNN). [20][22]

MLP je vrsta duboke neuronske mreže koja se sastoji od neurona povezanih u aciklički graf. Neuroni su raspoređeni u više slojeva i postoje potpune veze između slojeva MLP-a. Izlaz neurona u sloju prosljeđuje se kao ulaz neuronima u sljedećem sloju. Kako bi se klasificirao kao duboka neuronska mreža MLP treba imati najmanje tri skrivena sloja, te svaki MLP ima ulazni sloj, izlazni sloj i više skrivenih slojeva. Što je veći broj skrivenih slojeva, to je mreža dublja. Svaki neuron koristi razne nelinearne aktivacijske funkcije za omogućavanje učenja značajki, najpopularnije funkcije su sigmoid, tanh, ReLU, Leaky ReLU i Maxout. Proces pronalaženja aktivacija naziva se unaprijedni prolaz, nakon kojega se izračunava gubitak te se funkcija gubitaka optimizira, što je također poznato kao unatragni prolaz. [20]



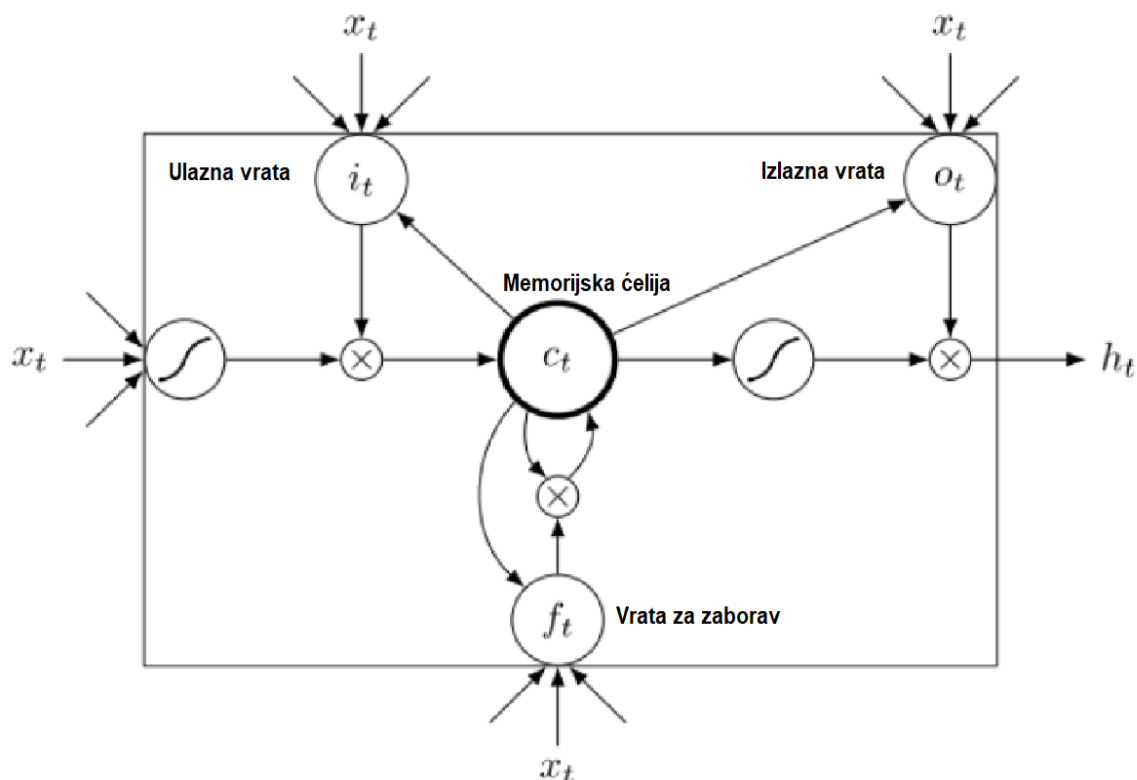
Sl. 4.6. Arhitektura MLP-a [20]

Za razliku od MLP-a, RNN je vrsta umjetne duboke neuronske mreže u kojoj povezani neuroni tvore usmjereni ciklički graf, što RNN-u omogućuje dinamično vremensko ponašanje. RNN može obraditi proizvoljan niz ulaza koristeći svoju internu memoriju. U RNN-u, skriveni slojevi jedne neuronske mreže povezani su sa skrivenim slojevima sljedeće neuronske mreže u vremenskom slijedu, tj. u obzir se uzima trenutno stanje kao i prethodno stanje. Pošto je RNN uvježban s unatražnim prolazom kroz vrijeme, može se smatrati neuronskom mrežom s povratnim prijenosom koja je razmotana s više slojeva, to može rezultirati problemima kao što su nestajanje gradijenata jer se vraća kroz mnoge vremenske korake tijekom unatražnog prolaza.



Sl. 4.7. Arhitektura RNN-a [20]

Kako bi se riješio problem nestajanja gradijenata uvedeno je dugo kratkoročno pamćenje (engl. *long short-term memory*, LSTM). LSTM se sastoji od tri sloja, ulaznog, izlaznog i ponavljajućeg skrivenog sloja. Ponavljajući skriveni sloj se, umjesto neurona, sastoji od memorijskog bloka kao temeljne jedinice. Memorijski blokovi se sastoje od konstantno povezanih podmreža. Svaki blok sastoji se od minimalno jedne memorijske ćelije i tri vrata. Vrata su ulazna, kojima podatak ulazi u memorijsku ćeliju, izlazna, kojima podatak izlazi iz memorijske ćelije i vrata za zaborav, koja se koriste za kontrolu protoka informacija i omogućavaju blokovima da pohranjuju i zadržavaju informacije dulje vrijeme kako bi se riješio problem nestajanja gradijenata. [20][23]



Sl. 4.8. Arhitektura memorijske ćelije LSTM-a [20]

Uporabom oblačića i ovih tipova dubokog učenja kreirane su tri komponente za optimizaciju mreže zdravstvene skrbi. Te tri komponente su komponenta analize i predviđanja mrežnog prometa dubokim učenjem (engl. *Deep Learning Network Traffic Analysis and Prediction*, DLNTAP), komponenta klasifikacije mrežnog prometa dubokim učenjem (engl. *Deep Learning Network Traffic Classification*, DLNTC) i komponenta grupiranja i analize protoka (engl. *Flow Clustering and Analysis*, FCA).

Razvojem Interneta stvari i mobilnih mreža u oblaku za zdravstvo, kratkoročno predviđanje podatkovnog prometa postalo je od primarne važnosti za smanjenje latencije i kako bi se osigurala kvaliteta usluge. Kako bi se to omogućilo implementirana je DLNTAP komponenta korištenjem LSTM-a, varijante RNN-a. Predviđanje podatkovnog prometa zahtijeva hvatanje vremenskih i prostornih promjena podatkovnog prometa. Za razliku od RNN-a, LSTM može zabilježiti dugoročne promjene s odmakom od 10 do 15 minuta. Model daje predviđanje temeljeno na trenutnom stanju i znanju o prethodnim stanjima. Paketi prolaze kroz ekstrakcijski sloj gdje se bilježe značajke prometa podataka i značajke aplikacije. Odabrane značajke zatim se koriste za obuku LSTM mreže. Nakon obuke dobivamo model koji se može koristiti za prognozu različitih mrežnih parametara. Nakon što uvježbani model predvidi detalje o budućem podatkovnom

prometu za određeno vrijeme, akcijski model određuje potrebne mrežne resurse koje treba dodijeliti i odabire odgovarajuće brzine prijenosa podataka kako bi se održala kvaliteta mreže. Nakon određenog vremena, model se ponovno obučava s novim unosom iz trenutnog stanja kako bi se proizveo točniji model za predviđanje. Odabrane značajke podatkovnog prometa unose se u LSTM model za predviđanje ako postoji već obučeni model, a ako ne postoji, model se obučava pomoću mrežnih značajki. Predviđaju se značajke mreže kao što su trajanje protoka podataka, brzina prijenosa u bitovima, brzina prijenosa paketa mreže i broja bajtova po paketu. Na temelju predviđenih vrijednosti mreže, prometu se daje prioritet, resursi se dodjeljuju za različite tijekomove, te se osvježava predmemorija na oblačićima postavljena za poboljšanje kvalitete usluga. [20]

Klasifikacija prometa temeljna je za svaku mrežu, a posebno za mobilne mreže u oblaku za određivanje anomalija, za određivanja prioriteta podatkovnog prometa preko ograničene propusnosti i kako bi se osigurala kvaliteta usluge. Implementacija odgovarajućih sigurnosnih pravila za vatrozide (engl. *firewalls*) mreže zahtijeva pravilno razumijevanje prirode mrežnog prometa. Stoga se implementira komponenta DLNTC. Slično DLNTAP-u, u početku se mjere značajke podatkovnog prometa i izdvajaju se značajke aplikacije. Koristeći tehnike rangiranja značajki, rangiramo izdvojene značajke kako bismo napravili konačni odabir. Odabrane značajke podatkovnog prometa se zatim označavaju pomoću odgovarajućih aplikacijskih protokola. Protokol aplikacije označava aplikaciju koja je generirala paket. Duboka neuronska mreža zatim se obučava pomoću značajki označenog podatkovnog prometa iz zdravstvenih aplikacija. Uvježbani klasifikator se zatim koristi za predviđanje aplikacijskog protokola dolaznog podatkovnog prometa. Predviđeni rezultati se zatim prosljeđuju komponenti za grupiranje i analiziranje protokola (FCA). FCA koristi rezultate predviđanja za daljnju analizu kako bi poduzeo različite radnje koje poboljšavaju kvalitetu usluge mreže. [20]

Mrežni promet koji potječe iz jednog aplikacijskog protokola imaće više od jedne vrste toka prometa. Stoga se integrira komponenta grupiranja i analize protoka za grupiranje i analizu prometa nakon što DLNTC komponenta predvidi klasu aplikacije protokola. Nakon što DLNCA komponenta klasificira podatkovni promet, FCA komponenta grupira sav podatkovni promet s protokolom koji je klasificirao DLNCA kako bi se otkrila stvarna uporaba paketa. Na temelju analize akcijski model dodjeljuje resurse, raspoređuje promet, filtrira i blokira zlonamjerni podatkovni promet. Nakon određenog vremenskog praga, FCA komponenta šalje signal DLNTC komponenti za ponovnu obuku klasifikatora s najnovijim podatkovnim prometom. [20]

## 4.3. Ostale primjene umjetne inteligencije

### 4.3.1. Umjetna inteligencija u prometnoj infrastrukturi

Promet i prohodnost grada među najbitnijim su sektorima svakog grada. Ukoliko promet i prohodnost grada nisu dobro organizirani to može dovesti do problema i smanjenja efikasnosti u ostalim sektorima. Metodama umjetne inteligencije smanjuju se gužve te ubrzava transport ljudi i resursa.

Najbitnija komponenta prometa je sigurnost ljudi uključenih u promet, od vozača motornih vozila i biciklista do pješaka. S ovim razlogom se pomoću senzora, koji su sada dostupni u većini vozila, prikupljaju informacije i podaci koji se obrađuju korištenjem neuronskih mreža detektiraju druga vozila, oštećenja cesta, pješaci i ostale rizične stavke koje mogu ugroziti sigurnost vozača i prouzrokovati oštećenja na vozilu. [24][25]

U svakome gradu postoji određeni broj parkirnih mjesta te to predstavlja problem svakome vozaču. Pomoću senzora u automobilima, pametnim telefonima vozača te samim parkiralištima, mogu se dobiti informacije ulazi li auto u parkiralište ili ga napušta te prikazati slobodna mjesta parkirališta vozaču na pametni telefon ili zaslon automobila. [26]

Jedan od najvažnijih aspekata inteligentnog prijevoza je prepoznavanje vozila. Precizno i točno prepoznavanje vozila ostvaruje se tehnikama dubokog učenja. Na ovaj način može se točno odrediti vrsta, marka i registracijske oznake vozila što ima veliku ulogu u kriminalističkom istraživanju kome pripada vozilo. [27]

Kako bi se smanjio broj automobilskih nesreća, u vozila su implementirani sustavi koji pomoću senzora i kamera u vozilu detektiraju promet i raspoznaju semafore. Pomoću kamera vozilo detektira svjetlo semafora te korištenjem algoritama umjetne inteligencije vozilo u realnom vremenu donosi odluku treba li se zaustaviti ili krenuti. Primjer ovoga vidimo na slici 3.1. [28]

Jedna od ključnih službi svakoga grada su taksi službe. S ciljem povećanja efikasnosti same službe predstavljen je sustav koji pomoću neuronskih mreža optimizira raspodjelu taksi vozila što dovodi do veće dostupnosti taksija, smanjuje vrijeme čekanja, skraćuje putovanje te smanjuje potrošnju goriva. [29]

Kako bi se smanjile gužve te povećala prohodnost grada predstavljen je sustav za pametno upravljanje semaforima, koji učinkovito upravlja gradskim prometom i sustav za pronalazak najbrže rute koji tehnikama dubokog učenja predviđa stanje prometa te pronalazi najbržu rutu što znatno smanjuje vrijeme putovanja do odredišta. [30][31]

### 4.3.2. Umjetna inteligencija u obrazovanju

Svaka osoba razlikuje se po načinu na koji obrađuje i pohranjuje informacije te zbog toga postoje različiti načini i stilovi učenja. Kako bi se ti načini i stilovi prepoznali te kako bi se poboljšao proces pohrane informacija u e-učenju korištene su razne metode umjetne inteligencije. Pametno obrazovanje jedno je od najbitnijih područja pametnog grada.

Umjetna inteligencija pruža svakom učeniku inteligentnog, osobnog učitelja. Podučavanje jedan na jedan najučinkovitiji je pristup učenju. Nažalost, to jednostavno nije realno jer nikada neće biti dovoljno učitelja za sve učenike te jer je veoma nepristupačan način podučavanja. Kako bi se to riješilo nastali su inteligentni sustavi podučavanja (engl. *Intelligent Tutoring Systems(ITS)*) koji koriste tehnike umjetne inteligencije za simuliranje individualnog podučavanja ljudi pružajući aktivnosti koje najbolje odgovaraju kognitivnim potrebama učenika i ciljanih i pravovremenih povratnih informacija bez prisutnosti učitelja.

Dugogodišnja istraživanja otkrila su da suradnja učenika, u paru ili grupi može znatno poboljšati rezultate učenja. Grupno učenje je učinkovito jer potiče učenike da opravdaju svoje mišljenje, čuju i razmišljaju o mišljenjima drugih, rješavaju probleme i razlike kroz konstruktivan razgovor te izgrađuju zajedničko znanje. Grupno učenje također može povećati motivaciju, ako je učenicima stalo do grupe i ostalih članova vjerojatno je da će se više baviti zadatkom. Međutim istraživanja su također dokazala da se suradnja učenika ne događa spontano, jer članovi grupe možda nemaju potrebne vještine socijalne interakcije za učinkovitu suradnju. Tu u pomoć dolazi umjetna inteligencija koja kroz četiri pristupa omogućuje kreiranje najučinkovitijih grupa. Ti pristupi su kreiranje adaptivnih grupa, stručno usmjeravanje, virtualni agenti i inteligentno nadgledanje. Pri kreiranju adaptivnih grupa AI sustavi u grupe stavljaju učenike jednakih ili sličnih interesa, približnih kognitivnih sposobnosti ili učenike koji donose različite ali komplementarne vještine i znanja. Sustavi za stručno usmjeravanje pomoću umjetne inteligencije prepoznaju kada grupa ima poteškoća u razumijevanju. Inteligentni virtualni agenti sudjeluju u radu grupe na jedan od tri načina: kao iskusni predavač koji podučava grupu, kao virtualni učenik na sličnoj kognitivnoj razini grupe koji predstavlja nove ideje ili kao umjetni učenik kojega učenici trebaju naučiti određenu vještinu. Pri grupnom radu teško je pratiti sve podatke i informacije u grupi tu učiteljima pomažu sustavi za pametno nadgledanje koji obavještavaju učitelja da je grupa „skrenula“ s teme te da im treba pomoć.

Inteligentna virtualna stvarnost omogućuje učenicima učenje u autentičnim okruženjima u kojima se inače ne bi mogli naći, kao što su opasna okruženja ili okruženja koja su zemljopisno ili

povijesno nedostupna. Velika prednost ovog načina učenja je istraživanje različitih scenarija i prenošenje tog znanja u stvarni svijet. Umjetna inteligencija u ovom tipu učenja poboljšava virtualni svijet, omogućavajući prirodnije interakcije na korisnikove radnje u virtualnom svijetu. Također, velika prednost ovakvih sustava je omogućavanje učenicima s nižim uspjehom da izgrade svoje samopouzdanje i postanu uspješni virtualni znanstvenici. [32][33]

### **4.3.3. Umjetna inteligencija u zdravstvu**

Korištenjem umjetne inteligencije zdravstvena zaštita u pametnim gradovima podigla se na novu razinu. Razvojem novih tehnologija i korištenjem neuronskih mreža umjetna inteligencija je, pomoću senzora, sposobna pratiti stanje pacijenta. Vjerojatnost da će umjetna inteligencija zamijeniti doktore i medicinske sestre je veoma niska, ali može im znatno pomoći u njihovom poslu.

Umjetna inteligencija u zdravstvu omogućuje predviđanje izbijanja bolesti. To radi pomoću izvora podataka u stvarnom vremenu, poput društvenih mreža, povijesnih informacija s weba, predviđanja kretanja ljudi, vremenskih nepogoda i drugih izvora. Pomoću umjetne inteligencije i neuronskih mreža predviđalo se izbijanje malarije analizirajući podatke o kretanju oboljelih, padalinama, temperaturi, broju slučajeva i mnogih drugih.

Ponovno prihvaćanje pacijenata u bolnicu veliki je problem u zdravstvu. Liječnici se bore održati pacijente zdravima, pogotovo nakon povratka kući nakon bolničkog liječenja. Razni digitalni zdravstveni asistenti pomažu u skrbi o pacijentima koji su na kućnom liječenju. Ti digitalni asistenti ih podsjećaju na redovito uzimanje lijekova, ispitivati ih o njihovom stanju te prenositi te i ostale relevantne informacije njihovom liječniku. Na nekim lokacijama kao što je Indija postoji veliko tržište za zdravstvene tehničare koji su upućeni u tehnologiju za starije osobe ili osobe sa smanjenom pokretljivošću. Oni pomoću video poziva i drugih usluga omogućuju tim pacijentima komunikaciju s liječnicima, uklanjajući potrebe za putovanjem do liječnika te pruža bržu pomoć pacijentu. [34]

Kako bi se smanjio broj odlazaka kod liječnika napravljena je platforma koja pomoću dubinskog učenja i pametnih telefona pacijenata snima njihov glas i snima informacije o promjeni boje glasa. Nakon obrade podataka, ako se otkrije potreba, podatci se šalju liječniku koji odlučuje o daljnjem procesu liječenja. Također korištenjem raznih senzora prikupljaju se podatci o pacijentu kao što su govor, pokreti, geste i izrazi lica te se šalju u sustav i obrađuju. Ovako se prati stanje pacijenta u stvarnom vremenu i pruža pomoć ako se za to otkrije potreba. [35]

Razni podaci koji se skupljaju o pacijentima su veoma privatni, stoga su razvijene razne tehnike strojnog učenja kako bi se ti podaci zaštitili, a u nekim slučajevima i poboljšali rezultati predviđanja i donošenja odluka. Kako bi se privatni podaci u zdravstvenim sustavima dodatno zaštitili korištena je i metoda umjetne inteligencije u kombinaciji s Čovjek u petlji modelom kako bi se osigurala privatnost izvještaja o pacijentima. [36]

#### **4.3.4. Umjetna inteligencija u zaštiti okoliša i energetici**

Jedan od najbitnijih zadataka pametnih gradova je efektivno praćenje okoliša grada. Konstantnim praćenjem i analizom podataka iz okoliša te pojavom katastrofa, korištenjem neuronskih mreža i metodama dubokog učenja, mogu se utvrditi uzroci katastrofa, izdati prethodna upozorenja u slučaju budućih katastrofa te se brže i efikasnije organizirati i skupiti resursi za spašavanje. Također uporaba obnovljivih izvora energije ima veliki doprinos u očuvanju okoliša grada, pomoću umjetne inteligencije, pametni gradovi pružanju efektivno korištenje te energije. Korištenje obnovljivih izvora energije smanjuje zagađenje okoliša što dovodi do poboljšanja kvalitete života. [37][38]

Konstantni razvoj industrije u gradu i sve veća urbanizacija doveli su do zagađenja zraka i pogoršanja kvalitete vode. Kako bi detekcija zagađenja bila brza i točna, predstavljena su rješenja bazirana na umjetnoj inteligenciji i strojnom učenju koji prate kvalitetu zraka i vode u stvarnom vremenu, analiziraju trendove te otkrivaju anomalije. [39][40]

Voda je jedan od najbitnijih resursa na planetu. Kako bi se smanjili nepotrebni gubitci vode u vodoopskrbnim mrežama grada kreirani su sustavi bazirani na umjetnoj inteligenciji koji otkrivaju i lociraju propuštanje vode u cijevima. [41]

Čistoća ulica, trgova i parkova grada iznimno je bitna za kvalitetu života i zdravlje stanovnika. Sustavi bazirani na umjetnoj inteligenciji omogućuju praćenje čistoće grada te smanjuju gradske troškove, a imaju i razne druge prednosti za grad i njegove stanovnike. [42]

Recikliranje materijala igra veliku ulogu u očuvanju okoliša kako pametnih gradova, tako i cijeloga svijeta. Kako bi se smanjila količina otpada i reciklirao potrebn materijal predstavljeni su sustavi bazirani na umjetnoj inteligenciji koji prepoznaju papir, plastiku i staklo te ih razvrstavaju kako bi se pravilo reciklirali. Korištenjem ovih sustava pogodnosti nisu samo ekološke već i ekonomske jer smanjuju cijenu proizvodnje materijala. [43]

Nepotrebno trošenje energije dovodi do nepotrebnih troškova i zagađenja okoliša. Uporabom metoda umjetne inteligencije i senzora u zgradama otkrili su se brojni slučajevi nepotrebno



trošenja energije kao što su rad klima uređaja ili uključeno grijanje kada nitko ne boravi u prostoriji. [38]

Kako bi se smanjila potrošnja električne energije i svjetlosno zagađenje nastala je ulična rasvjeta upravljana umjetnom inteligencijom i neuronskim mrežama. Pomoću raznih senzora koji prate doba dana, količinu osvjjetljenja i lokaciju rasvjeta se pali samo kada je netko u blizini. [44]

Jedan od najboljih oblika obnovljivog izvora energije je solarna energija. Korištenjem modela baziranim na neuronskim mrežama i dubokom učenju može se odrediti najbolja lokacija za solarne panele, te se pruža pomoć pri procjeni performansa solarnih panela. [45]

#### **4.3.5. Umjetna inteligencija u sigurnosti građana**

Povećanjem broja stanovnika grada, povećava se i broj kriminalnih radnji u gradu koje se neravnomjerno raspoređene po različitim sredinama grada, stoga je predstavljeno par sustava za suzbijanje i detekciju kriminala.

Obavještajni sustav temeljen na umjetnoj inteligenciji koji iz velike količine podataka izvlači korisne informacije o kriminalu kao što su mjesto i vrijeme događanja. Sustav koji opisuje ponašanje osobe te pomoću dubokog učenja detektira i prepoznaje anomalije u ponašanju te predviđa buduće radnje i kretanje osobe. Predstavljen je i inteligentni video sustav, temeljen na neuronskim mrežama, koji u masovnim grupama ljudi identificira abnormalno ponašanje. [46][47]

Kako bi se smanjio kriminal od velike važnosti su sustavi za prepoznavanje lica koji koriste metode umjetne inteligencije i strojnog učenja za uspoređivanje slika lica s bazom podataka i sustavi koji pomoću dubokog učenja prepoznaju biometrijske i bihevioralne osobine. [48][49]

Nadzorne kamere imaju jednu od najvećih uloga u sigurnosti grada i suzbijanju kriminala, ali imaju i brojne druge primjene. Pomoću nadzornih kamera mogu se detektirati razne nesreće kao što su požari ili prometne nesreće te obavijestiti odgovarajuće službe. Kako bi se poboljšao rad nadzornih kamera metodama umjetne inteligencije poboljšava se orijentacija kamera te pokrivenost vidnog polja. [50][51]

#### 4.4. Nedostatci umjetne inteligencije u pametnim gradovima

Kao i sve u životu i umjetna inteligencija ima svoje nedostatke i negativne stvari. Dva najveća problema umjetne inteligencije su sigurnost podatak koji su potrebni za donošenje različitih odluka i sigurnost ljudi što koriste umjetnu inteligenciju te etika donošenja odluka o posebnim slučajevima. Ostali problemi su gubitak poslova ljudi jer će umjetna inteligencija i roboti početi raditi te poslove, korištenje umjetne inteligencije za zlonamjerne radnje te privatnost osoba čiji se podatci prikupljaju.

Implementacija umjetne inteligencije u pametne gradove zahtjeva velike količine podataka o osobama, kako onih javnih ali tako i onih privatnih. Iako su ti podatci uglavnom zaštićeni i sigurni znaju se dogoditi cyber napadi kako bi se pristupilo tim podacima i iskoristilo ih se u zlonamjerne svrhe. Pošto je većina tih podataka privatnih, ti podatci se mogu iskoristiti za manipulaciju te tako pristupiti drugim stvarima te osobe kao što su novci ili iskoristiti te podatke u neke druge svrhe. Jedno od najvećih područja uporabe umjetne inteligencije u gradovima je promet te iako se predviđa da će to smanjiti broj nesreća, za sada takva vozila nisu proglašena sigurnima. [52]

Drugi najveći problem umjetne inteligencije je etika donošenja odluka. Sposobnost umjetne inteligencije je da donosi odluke s ciljem maksimizacije koristi što može dovesti do problema nejednakosti u društvu. Pošto su pametni uređaji i umjetna inteligencija lišeni moralnih, vjerskih i zakonskih odgovornosti može doći do situacija u kojima se ugrožavaju bitne ljudske vrijednosti. Kako bi se ovaj problem riješio razvija se nova disciplina zvana etika strojeva čiji je cilj razvijati inteligentne sustave s etničkim konceptima, no ova disciplina je tek u početku te se susreće s raznim problemima kao što je jedan od najpoznatijih primjera nesreća autonomnog vozila. U primjeru dolazi do nesreće u kojoj vozilo odnosno umjetna inteligencija mora odlučiti hoće li žrtvovati putnika kojeg vozi ili drugo vozilo. U ovom primjeru je također i problem u tome tko je kriv za nesreću, proizvođač vozila ili osoba koja se nalazila u vozilu. Ovakvi problemi zahtijevaju sudjelovanje čovjeka u donošenju odluka kako bi se stvorili etički standardi koji će se kasnije koristiti za razvoj etike strojeva. [53][54]

Također jedan od problema koji nastaje s porastom uporabe umjetne inteligencije i robota je zamjena ljudske radne snage s robotima. Pošto roboti mogu raditi određene radnje puno preciznije od čovjeka i uz gotovo nula pogrešaka, ako su dobro programirani, zamijenit će veliki broj radnika u tvornicama, već sada su roboti uključeni u veliki broj tvornica gdje pomažu ljudima u određenim radnjama, a u nekim tvornicama su u potpunosti zamijenili ljudsku radnu snagu. Još jedan posao u kojemu je umjetna inteligencija zamijenila ljude su sustavi za automatski odgovor u bankama i

pozivnim centrima. Ovdje se također stvara etički problem jer umjetna inteligencija ne prepoznaje etiku i moral. Neki od poslova koje će roboti i umjetna inteligencija zamijeniti su: učitelji, piloti, farmaceuti, vozači itd. No ovaj problem ima i pozitivnu stranu jer roboti također zamjenjuju ljude na poslovima koji su štetni za ljudsko zdravlje ili ih stavljaju u opasne situacije. [55]

Još jedan problem je privatnost podataka koji se prikupljaju. Softveri za identifikaciju kriminalaca konstantno snimaju ljude u većini slučajeva bez njihova znanja. Također se te informacije mogu i koristiti i za kontrolu ljudi. Neke države koriste ovakve sustave kako bi kontrolirali svoje državljane te tako narušuju njihovu privatnost i ljudska prava. Ovi sustavi se također mogu koristiti u zlonamjerne svrhe prateći određenu osobu i skupljajući informacije o osobi te kasnije iskoristiti te informacije da bi se manipuliralo drugim ljudima.

## 5. OSIJEK KAO PAMETNI GRAD

Vodeći se raznim primjerima iz Europe i svijeta, Osijek se razvija kao pametni grad. Cilj Osijeka je postati grad koji uči zajedno, radi zajedno i živi zajedno. Kako bi postao grad koji uči zajedno grad Osijek se fokusirao na jačanju industrije znanja i poduzetničkih pothvata temeljenih na znanju. Glavni način na koji to planiraju postići je jačanje Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera kroz razvoj Tehnološkog parka i Međunarodnog centra za poduzetničke studije. Sa svojim sveučilišnim i srednjoškolskim kapacitetima, Osijek nudi mnogo u razvoju novih i ugrađivanju znanja u visokovrijedne poduzetničke pothvate. Boljom povezanošću akademskog i poslovnog sektora osigurat će se bolje korištenje znanja u stvaranju konkurentnosti u raznim industrijama grada. Kako bi postao grad koji radi zajedno Osijek planira postati inteligentni grad poduzetnika. Sa svojom dugom obrtničkom i industrijskom tradicijom, Osijek, u novom globalnom umreženom svijetu, ima prioritet na kontinuiranoj inovaciji. Kako bi se to postiglo lokalna samouprava, poslovni i obrazovni sektor moraju zajednički djelovati u razvoju poduzetničkog kapaciteta promoviranjem znanja, otklanjanjem administrativnih prepreka i izgradnjom infrastrukture koja će olakšati i omogućiti početnicima uspješan razvoj. To će omogućiti jačanje konkurentnosti gospodarstva i omogućiti izlazak na međunarodna tržišta. Osijek kao grad koji živi zajedno planira se postići gradeći na već dobroj povijesnoj infrastrukturi grada, svojim brojnim prirodnim ljepotama kao što su rijeka Drava i Zoološki vrt. Osijek je također i grad mladih sa sveučilištem te želi mladima ponuditi najbolje obrazovne i poslovne mogućnosti te biti grad u koji mladi žele doći i ostati. [56]

Veliku ulogu u razvijanju Osijeka kao pametnog grada ima 5G mreža. Implementacija 5G mreže prvi je korak k ispunjenju vizije grada Osijeka kao inteligentnog grada te je Osijek postao prvi grad u Hrvatskoj s 5G mrežom. Pametni gradovi ovise o mobilnim mrežama kako bi pametni sustavi grada mogli efikasno prikupljati, obraditi i iskoristiti prikupljene podatke u što kraćem vremenu. Prednosti 5G mreže su niska latencija, velika pouzdanost prijenosa podataka i velika propusnost mreže što omogućava podražavanje svih digitalnih ciljeva grada odjednom. [57]

Kako bi olakšali javni gradski prijevoz Osijek je obavio digitalizaciju Butra kartice. Digitalizacija se obavlja prebacivanjem podataka s fizičke Butra kartice na aplikaciju Smartica. Korisnici javnoga prijevoza pomoću svojih pametnih mobilnih uređaja i aplikacije Smartica, ulaskom u vozilo javnog prijevoza prijavljuju na ulaznom validatoru. Velika prednost ovog sustava je olakšanje kupovanja mjesečne karte što su u aplikaciji može obaviti koristeći kartično plaćanje, a prije se moralo ići na prodajna mjesta. [58]

Aplikacija Smartica također se može koristiti i u projektu e-mobilnost. Projekt e-mobilnost je projekt nabave javnih bicikala na području grada Osijeka s ciljem nadopune javnog prijevoza, kroz koju korisnici sustava dobivaju alternativu dosadašnjim oblicima prijevoza, a sve uz pomoć modernih bicikala koji istovremeno doprinose smanjenju emisije CO<sub>2</sub>, zaštiti okoliša i boljoj mobilnosti stanovnika. [59]

Osijek je sa svojim brojnim i lijepim parkovima, perivojima i trgovima te šetnicom uz Dravu poznat i kao zeleni grad. Posljednjih godina Osijek kroz razne projekte obavlja energetske obnovu raznih stambenih i obrazovnih ustanova kako bi se smanjila potrošnja energije te postavlja solarne panele na razne lokacije diljem grada kako bi se povećala uporaba obnovljivih izvora energije. Još jedan način na koji Osijek brine o okolišu je i kroz svoju razvijenu komunalnu infrastrukturu što pomaže u recikliranju raznih materijala i smanjuje zagađenje okoliša. [60]

Grad Osijek mogao bi, po uzoru na mnoge europske i svjetske, ali i hrvatske gradove proširiti uporabu umjetne inteligencije.

Vodeći se primjerima iz Berlina i Splita, Osijek također može implementirati ideju pametnog parkinga. Koristeći se radarskim sensorima prati se zauzetost parkirnih mjesta i ti podatci se šalju vozačima na njihove pametne telefone smanjujući im gubitak vremena na traženje parkinga. [61]

Kao dobar primjer uštede električne energije, Osijek se može ugledati primjere iz Kopenhagena i Dubrovnika koristeći pametnu rasvjetu. Implementirajući LED uličnu rasvjetu i senzore kretanja može se prigušiti svjetlost kada nitko nije u blizini i tako smanjiti potrošnja energije i svjetlosno zagađenje grada. [62]

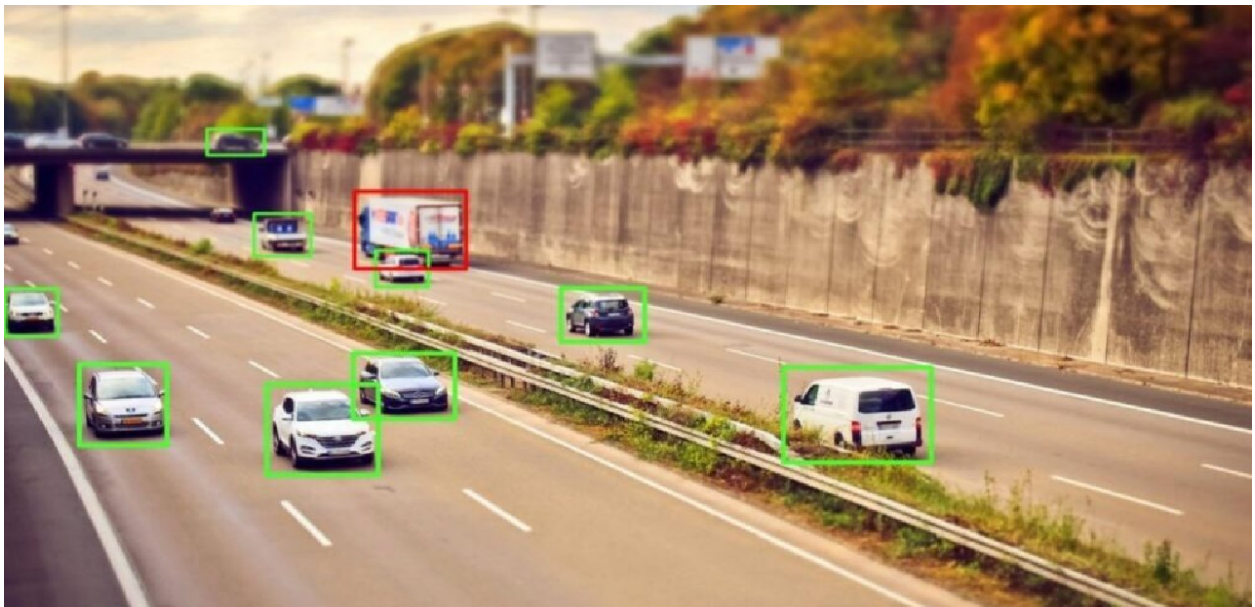
Osijek po uzoru na Beč može implementirati ideju pametnih zgrada. Radi se o sustavu za optimizaciju potrošnje energije i grijanja u stambenim i poslovnim zgradama. Zgrade su opremljene solarnim kolektorima i grijačima, hibridnim panelima i drugim tehnologijama za uporabu obnovljivih izvora energije, a u zgradi se pomoću senzora prati potrošnja i potreba za energijom te se na taj način smanjuje nepotrebno korištenje energije. Nakon uvođenja ovoga rješenja u Beč sve zgrade su proizvodile više energije nego što su trošile. [63]

## **5.1. Implementacija AI semafora u grad Osijek**

Jedno od područja koje grad Osijek također može poboljšati po uzoru na druge svjetske gradove je promet. Implementacijom umjetne inteligencije u kontrolu semafora mogu se značajno smanjiti

prometne gužve diljem grada Osijeka. Predloženi sustav uzima sliku s kamera na prometnim čvorovima kao ulaz za izračun gustoće prometa u stvarnom vremenu koristeći obradu slike i detekciju objekata. Slika se prosljeđuje algoritmu za detekciju YOLO, kojeg smo već spominjali u poglavlju 4.1. Algoritam detektira broj vozila svake klase i izračunava gustoću prometa, dok algoritam za prebacivanje signala koristi te informacije uz neke dodatne faktore, za postavljanje brojača vremena zelenog signala za svaku traku. Vremena crvenog signala ažuriraju se u skladu s time. Vrijeme zelenog signala također je ograničeno na minimalnu i maksimalnu vrijednost kako bi se izbjeglo zagušivanje određene trake.

Algoritam za detekciju vozila koristi već spomenuti algoritam YOLO, posebno programiran za detekciju vozila i klase vozila kao što su automobil, bicikl, autobus i kamion. Algoritam primjenjuje jednu neuronsku mrežu na cijelu sliku, a zatim dijeli sliku u regije i predviđa granične okvire i vjerojatnosti za svaku regiju. Ovi granični okviri imaju prioritet po predviđenim vjerojatnostima. YOLO je popularan jer postiže visoku točnost, a istovremeno radi u stvarnom vremenu. Algoritam "samo jednom" gleda sliku u smislu da zahtijeva samo jedan unaprijedni prolaz kroz neuronsku mrežu da bi napravio predviđanja. Nakon supresije, koja osigurava da algoritam otkrije svaki objekt samo jednom, algoritam zatim ispisuje prepoznate objekte zajedno s graničnim okvirima. [64]



Sl. 5.1. Primjer izlaza nakon detekcije i klasifikacije vozila [65]

Algoritam za prebacivanje signala postavlja brojač vremena zelenog signala u skladu s gustoćom prometa koju vraća modul za detekciju vozila i u skladu s tim ažurira brojače vremena crvenog signala. Pri razvijanju algoritma vodilo se brige o sljedećim faktorima:

- Vrijeme rada algoritma za izračunavanje gustoće prometa, a zatim trajanje zelenog signala – ovo odlučuje u koje vrijeme treba steći sliku
- Broj traka
- Ukupan broj vozila svake klase
- Gustoća prometa izračunata korištenjem gornjih faktora
- Vrijeme dodano zbog kašnjenja koje svako vozilo trpi tijekom pokretanja i nelinearnog povećanja kašnjenja koje trpe vozila koja su straga
- Prosječna brzina svake klase vozila kada se uključi zeleno svjetlo, tj. prosječno vrijeme potrebno za prolazak signala za svaku klasu vozila
- Minimalno i maksimalno vremensko ograničenje trajanja zelenog svjetla - kako bi se spriječilo zagušivanje

Kada se algoritam prvi put pokrene, zadano vrijeme postavlja se za prvi signal prvog ciklusa, a vremena za sve ostale signale prvog ciklusa i sve signale sljedećih ciklusa postavlja algoritam. Pokreće se posebna nit koja upravlja detekcijom vozila za svaki smjer, a glavna nit upravlja brojačem vremena trenutnog signala. Kada brojač vremena zelenog svjetla trenutnog signala (ili brojač vremena crvenog svjetla sljedećeg zelenog signala) dosegne 5 sekundi, niti detekcije snimaju snimku sljedećeg smjera. Rezultat se tada analizira i postavlja se brojač vremena za sljedeći zeleni signal. Sve se to događa u pozadini dok glavna nit odbrojava brojač trenutnog zelenog signala. To omogućuje besprijekorno dodjeljivanje brojača vremena i stoga sprječava bilo kakvo kašnjenje. Nakon što zeleni brojač vremena trenutnog signala postane nula, sljedeći signal postaje zelen za vrijeme koje je postavio algoritam. Kako bi se pronašlo optimalno vrijeme zelenog signala na temelju broja vozila svake klase, korištene su prosječne brzine vozila pri pokretanju i njihova vremena ubrzanja, iz kojih se procjenjuje prosječno vrijeme potrebno svakoj klasi vozila da prijeđe raskrižje. Vrijeme zelenog signala tada se izračunava pomoću formule 5-1

$$VZS = \frac{\sum_{klasaVozila} (brojVozila_{klasaVozila} * prosječnoVrijeme_{klasaVozila})}{(brojTraka + 1)} \quad (5-1)$$

gdje je:

- VZS – vrijeme zelenog signala

- brojVozila<sub>klasaVozila</sub> - broj vozila svake klase vozila koje je detektirao modul za detekciju vozila
- prosječnoVrijeme<sub>klasaVozila</sub> – prosječno vrijeme potrebno svakoj klasi vozila za proći raskrižje
- brojTraka – broj traka na raskrižju

Prosječno vrijeme potrebno svakoj klasi vozila da prijeđe raskrižje se može postaviti prema lokaciji, tj. ovisno o regiji, gradu, lokalitetu ili čak ovisno o karakteristikama raskrižja, kako bi upravljanje prometom bilo što učinkovitije. [64]

Uporaba ove metode moglo bi značajno smanjiti gužve na cestama grada Osijeka, a pogotovo u njegovoj najprometnijoj, Vukovarskoj ulici, te na taj način podići kvalitetu života u gradu.



## 6. ZAKLJUČAK

Sve dinamičniji i užurbaniji životni ritam te sve veća urbanizacija sa sobom donose i brojne probleme u gradove kao što su veliki broj stanovnika, zagađenje okoliša i razne klimatske promjene. Svi ti problemi zahtijevaju brza i pametna rješenja te je tako nastala ideja pametnog grada. Grada koji korištenjem brojnih tehnologija u svoja razna područja nastoji ne samo poboljšati postojeća rješenja, nego i stvoriti nova te tako podići kvalitetu života na novu razinu. Veliku ulogu u razvoju tih tehnologija ima umjetna inteligencija. Umjetna inteligencija tek je na početku svoga razvoje, a primjene su joj neograničene. Sveprisutnija je u našim životima, a toga nismo ni svjesni.

Pomoću umjetne inteligencije pametni gradovi razvijaju se i napreduju u raznim područjima, pružajući sigurniji, jednostavniji i ugodniji život. Umjetna inteligencija koristi se u gotovo svim područjima pametnog grada. Spomenuta rješenja povećavaju kvalitetu života, olakšavaju užurbanu svakodnevicu, čuvaju okoliš, pomažu nam u donošenju odluka te podižu cijelo društvo na novu razinu. Razvojem umjetne inteligencije i implementacijom u ostala područja pametnih gradova kvaliteta života će još više i brže rasti.

No pošto ništa u životu nema samo pozitivne strane i umjetna inteligencija ima svoje negativne strane i posljedice. Sigurnost korisnika umjetne inteligencije te donošenje etnički korektnih odluka ima puno mjesta za napredovati. Zbog toga se razvoj umjetne inteligencije mora nastaviti. Također i samo stanovništvo treba prihvatiti uporabu umjetne inteligencije, pošto i dalje postoji određena doza straha. Neupućeni građani smatraju da je primjena umjetne inteligencije loša, dok oni koji su upućeni strahuju za svojom privatnošću i privatnošću njihovih podataka. Gradovi koji implementiraju razne tehnologije umjetne inteligencije trebaju upoznati svoje građane s time kako te tehnologije rade, koje su prednosti i mane, kako će se te tehnologije implementirati te kako će to utjecati na njih. Financiranje razvoja pametnih gradova također je jedan od problema. Razni senzori, računalna oprema i njihovo održavanje je veoma skupo, a i sam rad sve te opreme iziskuje veliku potrošnju električne energije što stvara dodatni trošak za grad, no sva ova inicijalna ulaganja novca vrata se gradu kroz sve prednosti koje pametni grad pruža.

Osijek kao pametni grad ima još mnogo prostora za rasti i još mnogo područja za implementirati umjetnu inteligenciju. Ideje i načine kako to postići može uzeti iz primjeri raznih europskih i svjetskih gradova. Cilj Osijeka je stvoriti grad koji uči zajedno, radi zajedno i živi zajedno. To planira postići kroz povezivanje obrazovnog i poslovnog sektora grada te omogućiti mladima kvalitetan i zdrav život pun mogućnosti za obrazovanje i rad. U razvitku grada Osijeka kao pametnog grada značajno će pomoći već implementirana 5G mreža, koja omogućuje najbržu i

najpouzdaniju komunikaciju uređaja. Osijek može u još puno područja implementirati umjetnu inteligenciju kako bi poboljšao kvalitetu života, a među prvim implementacijama može biti u prometnu infrastrukturu za upravljanje semaforima kako bi se poboljšala prometna povezanost grada.

Umjetna inteligencija jedno je od najbrže rastućih područja te se iz godine u godinu sve brže i brže razvija, a s time se razvijaju i mnoga pametna rješenja za gradove. Njenim razvitkom i implementacijom u gradove u budućnosti će se unaprijediti razne gradske usluge, poboljšavajući kvalitetu života i stvarajući održiv grad. Međutim mora se iznimno voditi računa o podacima koji se koriste za rad umjetne inteligencije u gradovima, kako ne bi došlo do zlonamjernih uporaba tih podataka.

## LITERATURA

1. European Commission, A Definition of AI: Main Capabilities and Disciplines, 2019.
2. S. Russell, P. Norvig, Artificial Intelligence A Modern Approach Third Edition, Pearson Higher Education, New Jersey, Sjedinjene Američke Države, 2010.
3. J. Curzon, T. A. Kosa, R. Akalu, K. El-Khatib, Privacy and Artificial Intelligence, IEEE Transactions on Artificial Intelligence, br. 2, sv. 2, travanj 2021.
4. M. L. Marsal-Llacuna, J. Colomer-Llinas, J. Melendez-Frigola, Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative, Technological Forecasting and Social Change, br. 90, veljača 2014.
5. T. Bakıcı, E. Almirall, J. Wareham, A Smart City Initiative: The Case of Barcelona, Journal of the Knowledge Economy, br. 4, sv. 3, lipanj 2012.
6. K. Kourtit, P. Nijkamp, Smart Cities in the Innovation Age, Innovation: The European Journal of Social Science Research, br. 25, sv. 2, lipanj 2012.
7. Smart Cities and Buildings, ARC Advisory Group, Düsseldorf, Njemačka, 2020. dostupno na: <https://www.arcweb.com/industries/smart-cities> [datum zadnje posjete stranici 29. kolovoz 2022.]
8. I. Capdevila, M. I. Zarlenga, Smart City or smart citizens? The Barcelona case, Journal of Strategy and Management, br. 8, sv. 3, kolovoz 2015.
9. N. Arumugam, What made Shanghai the world's No.1 Smart City?, Cities Forum, London, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2022., dostupno na: <https://www.citiesforum.org/about-us/> [datum zadnje posjete stranici 29. kolovoz 2022.]
10. N. Joshi, Exposing the dark side of smart cities, Allerin, Indija, 2019., dostupno na: <https://www.allerin.com/blog/exposing-the-dark-side-of-smart-cities> [datum zadnje posjete stranici 10. kolovoz 2022.]
11. S. H. Alsamhi, O. Ma, M. S. Ansari, F. A. Almalki, Survey on Collaborative Smart Drones and Internet of Things for Improving Smartness of Smart Cities, IEEE Access, br. 7, kolovoz 2019.
12. R. Weinstein, RFID: a technical overview and its application to the enterprise, IT Professional, br. 7, sv. 3, kolovoz 2005
13. What is RFID?, Smartt Tags, Maraval, Trinidad i Tobago, 2020., dostupno na: <http://smartt-tags.com/#partner-companies> [datum zadnje posjete stranici 29. kolovoz 2022.]

14. M. Longhim, G. Marrocco, Flying sensors: Merging Nano-UAV with radiofrequency identification, 2017 IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA), Varšava, Poljska, 2017.
15. W. S. H. M. W. Ahmad, N. A. M. Radzi, F. S. Samidi, A. Ismail, F. Abdullah, M. Z. Jamaludin, M. N. Zakaria, 5G Technology: Towards Dynamic Spectrum Sharing Using Cognitive Radio Networks, IEEE Access, br. 8, siječanj 2020.
16. S. R. Pokhrel, J. Ding, J. Park, O. -S. Park, J. Choi, Towards Enabling Critical mMTC: A Review of URLLC Within mMTC, IEEE Access, br. 8, srpanj 2020.
17. E. Togootogtokh, S. Huang, W. L. Leong, R. T. S. Huat, G. L. Foresti, C. Micheloni, N. Maritnel, An Efficient Artificial Intelligence Framework for UAV Systems, 2019 Twelfth International Conference on Ubi-Media Computing (Ubi-Media), ožujak 2020.
18. K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, Deep Residual Learning for Image Recognition, 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), prosinac 2016.
19. Q. Wang, J. Gao, J. Xing, M. Zhang, W. Hu, DCFNet: Discriminant Correlation Filters Network for Visual Tracking, travnj 2017.
20. T. Muhammed, R. Mehmood, A. Albeshri, I. Katib, UbeHealth: A Personalized Ubiquitous Cloud and Edge-Enabled Networked Healthcare System for Smart Cities, in IEEE Access, br. 6, lipanj 2018.
21. M. Satyanarayanan, P. Bahl, R. Caceres, N. Davies, The case for VM-based cloudlets in mobile computing, IEEE Pervasive Computing, br. 8, sv. 4, listopad 2009.
22. Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton, Deep learning, Nature, br. 521, svibanj 2015.
23. J. Schmidhuber, Deep Learning in Neural Networks: An Overview, Neural Networks, br. 61, travanj 2014.
24. S. K. Choudhury, R. P. Padhy, A. Kumar, P. K. Sa, K. Muhammad, S. Bakshi, Scale Aware Deep Pedestrian Detection, Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, br. 30, sv. 4, listopad 2018.
25. A. S. El-Wakeel, Jin Li, A. Noureldin, H. S. Hassanein, N. Zorba, Towards a Practical Crowdsensing System for Road Surface Conditions Monitoring, IEEE Internet of Things Journal, br. 6, sv. 5, prosinac 2018.
26. M. I. Hossen, G. Kah, K. O. M. Goh, T. Connie, Smartphone-Based Context Flow Recognition for Outdoor Parking System with Machine Learning Approaches, Electronics, br. 784, srpanj 2019.
27. X. Ke, Y. Zhang, Fine-grained Vehicle Type Detection and Recognition Based on Dense Attention Network, Neurocomputing, br. 399, sv. 6, ožujak 2020.

28. A. Alam, Z. A. Jaffery, A Vision-Based System for Traffic Light Detection, Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering, br. 698, Singapur, 2019.
29. R. Iqbal, F. Doctor, B. More, S. Mahmud, U. Yousuf, Big Data analytics: Computational intelligence techniques and application areas, International Journal of Information Management, br. 153, lipanj 2016.
30. P. Mannion, J. Duggan, E. Howley, Parallel Reinforcement Learning for Traffic Signal Control, Procedia Computer Science, br. 52, lipanj 2015.
31. X. Niu, Y. Zhu, Q. Cao, X. Zhang, W. Xie, Z. Kun, An Online-Traffic-Prediction Based Route Finding Mechanism for Smart City, International Journal of Distributed Sensor Networks, br. 2015, sv. 1948, kolovoz 2015.
32. L. Rose, H. Wayne, M. Griffiths, L. B. Forcier, Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education, Pearson Education, London, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2016.
33. S. Wang, Smart data mining algorithm for intelligent education, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, br. 1, sv. 37, srpanj 2019.
34. S. Ganguly, Why pandemic-led digital disruption has led to a surge in demand for tech jobs in healthcare across India, YourStory, Indija, 2021., dostupno na: <https://yourstory.com/2021/07/pandemic-led-digital-disruption-increase-tech-jobs-healthcare-teamlease-digital/amp> [datum zadnje posjete stranici 16. kolovoz 2022.]
35. A. Panesar, Machine Learning and AI for Healthcare, Apress Media, Coventry, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2021.
36. A. A. Obinikpo, B. Kantarci, Big Sensed Data Meets Deep Learning for Smarter Health Care in Smart Cities, Journal of Sensor and Actuator Networks, br. 6, sv. 4, studeni 2017.
37. Q. Chen, W. Wang, F. Wu, S. De, R. Wang, B. Zhang, X. Huang, A Survey on an Emerging Area: Deep Learning for Smart City Data, IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, br.5, sv. 3, svibanj 2019.
38. Y. Liu, C. Yang, L. Jiang, S. Xie, Y. Zhang, Intelligent Edge Computing for IoT-Based Energy Management in Smart Cities, IEEE Network, br. 33, sv. 2, ožujak 2019.
39. X. Mo, L. Zhang, H. Li, Z. Qu, A Novel Air Quality Early-Warning System Based on Artificial Intelligence, International Journal of Environmental Research and Public Health, br. 16, sv. 19, rujan 2019.
40. U. Ahmed, R. Mumtaz, H. Anwar, S. Mumtaz, A. M. Qamar, Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies, Water Science & Technology Water Supply, br. 20, sv. 1, listopad 2019.

41. I. Rojek, J. Studzinski, 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*, br. 12, sv. 2, siječanj 2019.
42. P. Ping, E. Kumala, J. Gao, G. Xu, Smart street litter detection and classification based on Faster R-CNN and edge computing, *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, br. 4, sv. 30, veljača 2020.
43. B. S. Costa, A. C. S. Bernandes, J. V. A. Pereira, V. H. Zampa, V. A. Pereira, G. F. Matos, E. A. Soares, C. L. Soares, A. F. Silva, Artificial Intelligence in Automated Sorting in Trash Recycling, *XV Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional*, São Paulo, 2018.
44. M. Kolasa, The concept of intelligent system for street lighting control using artificial neural networks, *Przegląd Elektrotechniczny*, br. 92, sv. 7, srpanj 2016.
45. A. C. Serban, M. Lytras, Artificial Intelligence for Smart Renewable Energy Sector in Europe—Smart Energy Infrastructures for Next Generation Smart Cities, *IEEE Access*, br. 8, travanj 2020.
46. M. Castelli, R. Sormani, L. Trujillo, A. Popovič, Predicting per capita violent crimes in urban areas: an artificial intelligence approach, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, br. 8, sv. 1, veljača 2017.
47. L. Qin, N. Yu, D. Zhao, Applying the Convolutional Neural Network Deep Learning Technology to Behavioural Recognition in Intelligent Video, *Tehnicki Vjesnik*, br. 25, sv. 2, travanj 2018.
48. P. K. Medapati, T. Murthy, K. P. Sridhar, LAMSTAR: For IoT-based face recognition system to manage the safety factor in smart cities, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, br. 31, sv. 12, prosinac 2019.
49. M. Xiong, D. Chen, J. Chen, J. Chen, B. Shi, C. Liang, R. Hu, Person Reidentification with Multiple Similarity Probabilities Using Deep Metric Learning for Efficient Smart Security Applications, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, br. 132, listopad 2019.
50. D. Jung, V. T. Tuan, D. Q. Tran, M. Park, S. Park, Conceptual Framework of an Intelligent Decision Support System for Smart City Disaster Management, *Applied Sciences*, br. 10, sv. 2, siječanj 2020.
51. K. A. Eldrandaly, M. Abdel-Basset, L. Abdel-Fatah, PTZ-Surveillance coverage based on artificial intelligence for smart cities, *International Journal of Information Management*, br. 49, svibanj 2019.

52. F. Liang, W. G. Hatcher, W. Liao, W. Gao, W. Yu, Machine Learning for Security and the Internet of Things: The Good, the Bad, and the Ugly, IEEE Access, br. 7, listopad 2019.
53. P. Calvo, The ethics of Smart City (EoSC): moral implications of hyperconnectivity, algorithmization and the datafication of urban digital society, Ethics and Information Technology, br. 22, sv. 1, lipanj 2020.
54. L. A. Dennis, M. Slavkovik, Machines That Know Right And Cannot Do Wrong: The Theory and Practice of Machine Ethics, IEEE Intelligent Informatics Bulletin, br. 1, sv. 19, kolovoz 2018.
55. Y. Liu, W. Zhang, S. Pan, Y. Li, Y. Chen, Analyzing the robotic behaviour in a smart city with deep reinforcement and imitation learning using IoRT, Computer Communications, br. 150, sv. 3, studeni 2019.
56. S. Singer, S. Oberman Peterka, A. Delić, J. Perić, K. Mlinarević, N. Šarlija, Strategija razvoja Grada Osijeka, Službeni glasnik Grada Osijeka, br. 2, veljača 2015.
57. D. Turkalj, I. Kelić, J. Rašić, Youth Perception on 5G Networks in Osijek, 2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO), Opatija, 2020
58. Digitalizacija personaliziranog Butre, Gpp Osijek, Osijek, 2021., dostupno na: <https://gpp-osijek.com/digitalizacija-personaliziranje-butre-od-1-2-2021/> [datum zadnje posjete stranici 19. kolovoz 2022.]
59. Projekt E-mobilnost grada Osijeka, Gpp Osijek, Osijek, 2021. dostupno na: <https://gpp-osijek.com/projekt-e-mobilnost-grada-osijeka/> [datum zadnje posjete stranici 19. kolovoz 2022.]
60. Osijek se razvija u zeleni, pametni grad, Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Zagreb, dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/osijek-se-razvija-u-zeleni-pametni-grad/7197> [datum zadnje posjete stranici 19. kolovoz 2022.]
61. World's first pilot project started in Berlin Intelligent Search for Parking Space, Traffic Infra Tech, New Delhi, 2016., dostupno na: <https://www.trafficinfatech.com/worlds-first-pilot-project-started-in-berlin-intelligent-search-for-parking-space/> [datum zadnje posjete stranici 19. kolovoz 2022.]
62. Thor: Road Lighting Solution for Copenhagen, Copenhagen, 2016., <http://www.thornlighting.com/en/solutions/case-studies/smart-city/road-lighting-solution-for-copenhagen> [datum zadnje posjete stranici 19. kolovoz 2022.]
63. V. Roblek, The smart city of Vienna, Smart City Emergence 1st Edition: Cases From Around the World, br. 1, sv. 5, lipanj 2019.

64. M. M. Gandhi, D. S. Solanki, R. S. Daptardar, N. S. Baloorkar, Smart Control of Traffic Light Using Artificial Intelligence, 2020 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), veljača 2021.
65. M. Lukac, How to Train an Object Detection Model with one Click, Ximilar, Prag, Česka, 2020., dostupno na: <https://www.ximilar.com/how-to-train-an-object-detection-model-with-one-click/> [datum zadnje posjete stranici 30. kolovoz 2022.]



## SAŽETAK

Sve veća urbanizacija sa sobom je donijela brojne klimatske, ekološke, tehnološke i ekonomske probleme koji smanjuju kvalitetu života. Kako bi se ti problemi riješili nastao je koncept pametnog grada koji primjenom raznih tehnologija podiže kvalitetu života. Umjetna inteligencija jedna je od tih tehnologija. Implementacijom umjetne inteligencije u razna područja grada kvaliteta života drastično se podigla. Kvalitetnija medicinska pomoć, bolja prometna povezanost dijelova grada, manja potrošnja energije, bolje obrazovanje te smanjenje troškova života samo su neke od mnogih prednosti implementacije umjetne inteligencije u gradove. Naravno postoje i neke posljedice koje će s razvitkom umjetne inteligencije postajati sve manje i manje. Na kraju objašnjen je i plan grada Osijeka da postane pametni grad povezujući razne dijelove infrastrukture grada.

Ključne riječi: pametni grad, umjetna inteligencija, strojno učenje

## **SUMMARY**

### **Implementation of artificial intelligence in smart city solutions**

Increasing urbanization has brought with itself numerous climatic, environmental, technological and economic problems that reduce the quality of life. In order to solve these problems, the concept of a smart city was created, which raises the quality of life by applying various technologies. Artificial intelligence is one of these technologies. With the implementation of artificial intelligence in various areas of the city, the quality of life has risen drastically. Better medical care, better transport connectivity of the city, lower energy consumption, better education and reduced cost of living are just some of the many benefits of implementing artificial intelligence in cities. Of course, there are also some consequences that will become smaller and smaller with the development of artificial intelligence. Finally, the plan of the city of Osijek to become a smart city by connecting various parts of the city's infrastructure was explained.

Key words: smart city, artificial intelligence, machine learning

## **ŽIVOTOPIS**

Domagoj Vučetić rođen je 06. svibnja 1999. godine u Vinkovcima, Hrvatska. Osnovnoškolsko te srednjoškolsko obrazovanje završava u Vinkovcima. Srednju školu "Tehnička škola Ruđera Boškovića Vinkovci" smjer "Tehnička gimnazija" završava 2018. godine. Nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja te uspješnog polaganja državne mature, upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, preddiplomski studij računarstva.

---