

UNIVERZITET U SARAJEVU  
EKONOMSKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA IOT TEHNOLOGIJE U PROJEKTIMA SMART CITY**

Sarajevo, septembar 2024.

ELMIR JAŠIĆ

U skladu sa članom 54. Pravila studiranja za I, II ciklus studija, integrisani, stručni i specijalistički studij na Univerzitetu u Sarajevu, daje se

### **IZJAVA O AUTENTIČNOSTI RADA**

Ja, Elmir Jašić, student/studentica drugog (II) ciklusa studija, broj index-a 4084 na programu Menadžment, smjer Menadžment i informacione tehnologije izjavljujem da sam završni rad na temu:

#### **PRIMJENA IOT TEHNOLOGIJE U PROJEKTIMA SMART CITY**

pod mentorstvom prof. dr. Elvedina Grabovice izradio samostalno i da se zasniva na rezultatima mog vlastitog istraživanja. Rad ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene materijale drugih autora, osim onih koji su priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija uključujući i alate umjetne inteligencije.

Ovom izjavom potvrđujem da sam za potrebe arhiviranja predao/predala elektronsku verziju rada koja je istovjetna štampanoj verziji završnog rada.

Dozvoljavam objavu ličnih podataka vezanih za završetak studija (ime, prezime, datum i mjesto rođenja, datum odbrane rada, naslov rada) na web stranici i u publikacijama Univerziteta u Sarajevu i Ekonomskog fakulteta.

U skladu sa članom 34. 45. i 46. Zakona o autorskom i srodnim pravima (Službeni glasnik BiH, 63/10) dozvoljavam da gore navedeni završni rad bude trajno pohranjen u Institucionalnom repozitoriju Univerziteta u Sarajevu i Ekonomskog fakulteta i da javno bude dostupan svima.

Sarajevo, 09.09.2024.

Potpis studenta:

## **SAŽETAK**

Pojmovi internet stvari (IoT) i pametni gradovi postaju sve aktuelniji u svakodnevnom životu. Internet stvari čini nekoliko ključnih komponenti, najvažniji su senzori, zatim komunikacija (bežična ili žična, internet) i korisnički interfejsi za obradu podataka. Pametni gradovi su poznati i kao digitalni gradovi, inteligentni gradovi i povezani gradovi, tehnološki predstavljaju geografska područja koja prikupljaju ogromne količine elektronskih podataka od stanovnika, uređaja, objekata, infrastrukture, transporta, kako bi se učinkovitije upravljalo dostupnim resursima grada. Osnovni cilj pametnog grada je optimizacija i promicanje ekonomičnijeg i održivijeg rasta uz poboljšavanje kvalitete života građana korištenjem pametnih tehnologija kao što su IoT i analize velike količine podataka. U ožičenim gradovima sve je međusobno povezano, od transporta, automobila, infrastrukture i kućanskih uređaja do senzora i tehnologije pametne mreže koja omogućuje distribuciju električne energije i poboljšane sistema upravljanja. Poželjno je da se građani uključe u pametne gradove koristeći svoje pametne telefone, pametne kuće i povezane automobile. Uparivanje uređaja i podataka poboljšava održivost i smanjuje troškove tako da nemaju koristi samo stanovnici nego i okoliš. Povezanost pojmova: IoT i pametni gradovi se prožima kroz cjelokupni rad koji u konačnici ima za cilj da potvrdi da bez primjene IoT rješenja nije moguće zamisliti koncept pametnih gradova a sigurna primjena IoT rješenja doprinosi boljem kvalitetu života u gradu.

## **ABSTRACT**

The terms Internet of Things (IoT) and smart cities are becoming more and more relevant in everyday life. The Internet of Things consists of several key components, the most important are sensors, then communication (wireless or wired, Internet) and user interfaces for data processing. Smart cities are also known as digital cities, intelligent cities and connected cities, technologically representing geographical areas that collect huge amounts of electronic data from residents, devices, facilities, infrastructure, transport, in order to more effectively manage the available resources of the city. The main goal of a smart city is to optimize and promote more economic and sustainable growth while improving the quality of life of citizens through the use of smart technologies such as IoT and big data analysis. In wired cities, everything is interconnected, from transportation, cars, infrastructure and home appliances to sensors and smart grid technology that enables electricity distribution and improved management systems. Citizens are expected to engage in smart cities using their smartphones, smart homes and connected cars. Pairing devices and data improves sustainability and reduces costs so that not only residents benefit, but the environment as well. The connection between the concepts: IoT and smart cities permeates the entire work, which ultimately aims to confirm that without the application of IoT solutions, it is not possible to imagine the concept of smart cities, and the safe application of IoT solutions contributes to a better quality of life in the city..

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	v
POPIS TABELA .....	vi
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Obrazloženje teme .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Predmet i problem istraživanja .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Ciljevi istraživanja.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Struktura završnog rada .....</b>	<b>6</b>
<b>2. INTERNET STVARI (IoT).....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Standardizacija .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. Karakteristike .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. IoT arhitektura .....</b>	<b>11</b>
2.3.1. Pametni uređaj / sloj senzora.....	11
2.3.2. Gatewayi i mreže.....	12
2.3.3. Sloj usluge upravljanja .....	12
2.3.4. Sloj aplikacije.....	13
<b>2.4. IoT funkcionalni pogled .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5. Budući tehnološki razvoj IoT-a .....</b>	<b>14</b>
<b>2.6. IoT platforme .....</b>	<b>14</b>
<b>2.7. Interoperabilnost u IoT-u .....</b>	<b>16</b>
<b>2.8. Budući izazovi za IoT .....</b>	<b>17</b>
<b>3. SMART CITY .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Komponente Smart City-ja.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Pametna poljoprivreda.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3. Usluge pametnog grada.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4. Pametna energija .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5. Pametno zdravlje .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6. Pametna kuća .....</b>	<b>22</b>
<b>3.7. Pametna industrija .....</b>	<b>22</b>
<b>3.8. Pametna infrastruktura .....</b>	<b>23</b>
<b>3.9. Pametni transport.....</b>	<b>24</b>
<b>3.10.Zdravlje zgrada.....</b>	<b>24</b>
<b>3.11.Monitoring životne sredine .....</b>	<b>24</b>
<b>3.12.Upravljanje otpadom.....</b>	<b>24</b>
<b>3.13.Pametno parkiranje.....</b>	<b>25</b>

3.14. Navigacijski sistem za vozače gradskog autobusa .....	25
3.15. Pametna rešetka .....	25
<b>4. IOT KAO TEHNOLOGIJA KOJA OMOGUĆAVA SMART CITY .....</b>	<b>26</b>
4.1. IoT za Smart Cities: zahtjevi i stvarni primjeri .....	26
4.2. Internet stvari za pametne gradove .....	29
4.3. Iot arhitekture za pametne gradove.....	29
4.4. <i>Fog Computing</i> model – model računanja u magli .....	31
4.5. Edge Computing Model .....	31
4.6. Senzorske tehnologije .....	32
4.6.1. Ambijentalni senzori .....	32
4.6.2. Bio senzori.....	32
4.6.3. Hemijski .....	32
4.6.4. Električni senzori.....	33
4.6.5. Hidraulični.....	33
4.6.6. Identifikacija.....	33
4.6.7. Senzori pokreta.....	34
4.6.8. Prisutnost.....	34
4.6.9. Ostali senzori.....	34
4.7. Tehnologije umrežavanja.....	34
4.8. Mrežne topologije .....	35
4.9. Mrežne arhitekture.....	35
4.10. Mrežni protokoli .....	36
4.10.1. RFID.....	36
4.10.2. Near Field Communication .....	36
4.10.3. Bluetooth .....	37
4.10.4. Z-Wave.....	37
4.10.5. Li-Fi.....	37
4.10.6. Wi-Fi .....	37
4.10.7. Zigbee.....	38
4.10.8. Wi-SUN.....	38
4.10.9. Cellular .....	38
4.10.10. LoRaWAN .....	38
4.10.11. 6LoWPAN.....	38
4.10.12. SigFox .....	39
4.10.13. NB-IoT .....	39
4.11. Algoritmi velikih podataka/vještačka inteligencija .....	40

<b>4.12. Mašinsko učenje</b> .....	<b>40</b>
<b>4.13. Duboko učenje</b> .....	<b>41</b>
<b>4.14. Upotreba AI za pametne gradove</b> .....	<b>41</b>
4.14.1. Pametna poljoprivreda.....	41
4.14.2. Pametno zdravlje .....	42
4.14.3. Pametne kuće.....	42
<b>5. IOT IZAZOVI ZA PAMETNE GRADOVE</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1. Pametni senzori</b> .....	<b>44</b>
<b>5.2. Mrežni i transportni problemi</b> .....	<b>45</b>
<b>5.3. Sigurnost i privatnost</b> .....	<b>46</b>
5.3.1. Povjerljivost podataka, integritet i autentifikacija.....	48
5.3.2. Upravljanje ključem .....	48
5.3.3. Upravljanje povjerenjem .....	49
<b>5.4. Pitanja heterogenosti</b> .....	<b>49</b>
<b>5.5. Uskraćivanje usluge</b> .....	<b>49</b>
<b>5.6. Analitika velikih podataka</b> .....	<b>50</b>
<b>5.7. Slojevi aplikativnog softvera (<i>Middleware</i>, aplikacijski i poslovni sloj) .....</b>	<b>52</b>
5.7.1. Vidljivost/identifikacija podataka .....	52
5.7.2. Pristup podacima/sekundarna upotreba.....	52
5.7.3. Ubacivanje podataka/Integritet podataka .....	52
<b>5.8. Mrežni sloj</b> .....	<b>53</b>
5.8.1. Man in the middle napad .....	53
5.8.2. Napad prisluškivanja/njuškanja.....	53
5.8.3. Napad bočnim kanalom.....	53
5.8.4. Denial of Service napad .....	54
5.8.5. Spoofing napad.....	54
<b>5.9. Sloj percepcije</b> .....	<b>54</b>
<b>5.10. Sistemski problemi</b> .....	<b>54</b>
5.10.1. Curenje podataka.....	54
5.10.2. Pouzdanost .....	55
<b>6. SWOT ANALIZA</b> .....	<b>55</b>
<b>6.1. Snage</b> .....	<b>55</b>
<b>6.2. Slabosti</b> .....	<b>58</b>
<b>6.3. Prilike</b> .....	<b>60</b>
<b>6.4. Prijetnje</b> .....	<b>61</b>

<b>7. PRAKTIČNI PROJEKTI IMPLEMENTACIJE IOT U SMART CITY RJEŠENJIMA KOMPANIJE BH TELECOM.....</b>	<b>63</b>
<b>7.1. BH Telecom .....</b>	<b>63</b>
<b>7.2. Pametni parking.....</b>	<b>64</b>
<b>7.3. Pametna rasvjeta .....</b>	<b>65</b>
<b>7.4. Pametni otpad .....</b>	<b>66</b>
<b>7.5. Pametna punionica .....</b>	<b>67</b>
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>68</b>
<b>8.1. Buduće preporuke .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCE .....</b>	<b>70</b>

## POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Razvoj pametnih gradova .....</i>	<i>1</i>
<i>Slika 2. Internet stvari .....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 3. IoT protokol stack.....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 4. IoT arhitektura.....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 5. Dimenzije interoperabilnosti .....</i>	<i>16</i>
<i>Slika 6. Komponente pametnog grada.....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 7. Komponente udaljenog sistema za nadzor pacijenta koji je zasnovan na IoT - Cloud infrastrukturi.....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 8. Shema pametne kuće za upravljanje energijom .....</i>	<i>23</i>
<i>Slika 9. Arhitektura pametne rešetke .....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 10. IoT arhitektura .....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 11. Senzorske tehnologije za IoT pametne gradove .....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 12. Mrežne tehnologije za IoT pametne gradove .....</i>	<i>40</i>
<i>Slika 13. IoT karakteristike za ostvarivanje pametnog grada i njegova ograničenja.....</i>	<i>43</i>
<i>Slika 14. Izazovi za IoT u pametnim gradovima.....</i>	<i>45</i>
<i>Slika 15. Centar za upravljanje podaci u Rio De Janeiru.....</i>	<i>51</i>
<i>Slika 16. Screenshot-ovi Mytown mobilne aplikacije.....</i>	<i>51</i>
<i>Slika 17. BH Smart Lab kompanije BH Telecoma.....</i>	<i>63</i>
<i>Slika 18. Pametni parking - rješenje BH Telecoma.....</i>	<i>64</i>
<i>Slika 19. Pametna rasvjeta - rješenje BH Telecoma .....</i>	<i>65</i>
<i>Slika 20. Pametni otpad - rješenje BH Telecoma.....</i>	<i>66</i>
<i>Slika 21. Pametna punionica - rješenje BH Telecoma .....</i>	<i>67</i>
<i>Slika 22. IoT Analytics – Globalna prognoza IoT tržišta.....</i>	<i>69</i>

## POPIS TABELA

<i>Tabela 1. Glavni komunikacijski standardi unutar IoT.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 2. Komparacija glavnih IoT platformi .....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 3. Komparacija mrežnih tehnologija u IoT pametnim gradovima .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 4. SWOT Analiza za IoT u Smart gradovima .....</i>	<i>56</i>

## POPIS SKRAĆENICA

**IKT** – Informacijske i komunikacijske tehnologije

**PAN** - Personal Area Network

**LTE** - Long-Term Evolution

**AWS IoT** - Amazon Web Services, AWS IoT

**Oracle IoT cloud** - Oracle Internet of Things Cloud Service

**IBM IoT** - IBM Watson IoT Platform

**MQTT** - Message Queue Telemetry Transport

**AMQP** - Advanced Message Queuing Protocol

**DDS-RTS** - Data Distribution Service for Real-Time Systems

**HTTP** - HyperText Transfer Protocol

**IPv4** - Internet Protocol Version 4

**HMI** - Human Machine Interface

**6LowPan** - IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks

**GSM** - Global System for Mobile Communications

**RFID** - Radio frequency identification

**IPv6** - Internet Protocol version 6

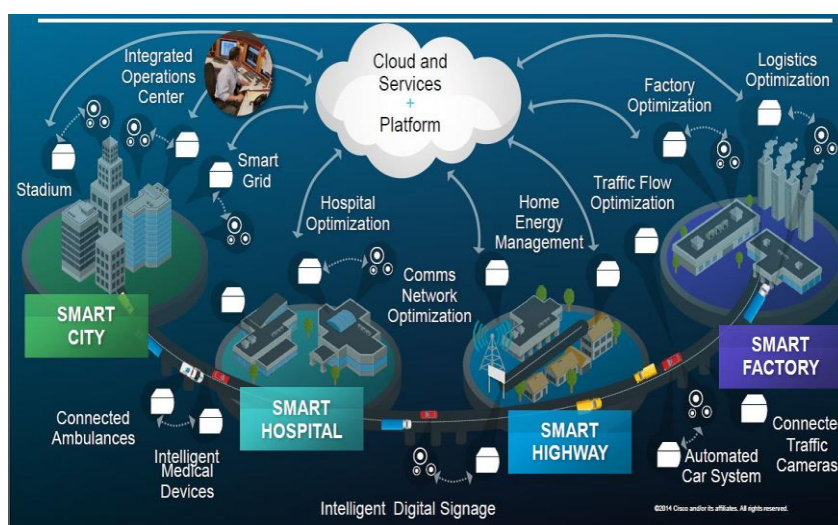
**WSN** – wireless sensor networks



## 1. UVOD

Kako gradovi rastu i šire se, pametna i inovativna rješenja su ključna za povećanje produktivnosti, operativne efikasnosti i smanjenje upravljačkog troška. Građani postepeno opremaju svoje stanove i kuće sa IoT uređajima kao što su smart TV i razni media boxovi (streaming stickovi, chromcast, itd). U stambenom sektoru, povezani objekti uključuju termostate, pametne alarme, pametne kamere, pametne prekidače, pametne brave za vrata i druge sisteme i kućne uređaje. Na konferenciji Ujedinjenih Nacija o klimatskim promjenama, održanoj u Parizu 2016. godine, povezani objekti su posebno naglašeni i dali su mnogim lokalnim zajednicama priliku da razmisle o svojim ekološkim ciljevima u svrhu reduciranja CO<sub>2</sub> emisije kroz korištenje IoT tehnologija. To može igrati vitalnu ulogu u kontekstu pametnih gradova. Na primjer, inteligentni kontejneri za otpad mogu donijeti stvarne benefite za građane, isti će indicirati da su uskoro puni i da će se morati isprazniti. Građani će moći provjeriti putem aplikacije za pametne telefone dali su kontejneri za otpad na ulici puni ili ne. Također, nakon što pametni kontejneri za otpad prijave svoj status, kompanija može ponuditi rješenje za optimizaciju rute odgovornim preduzećima za odvoz smeća.

Slika 1. Razvoj pametnih gradova



Izvor: Badis Hammi, Achraf Fayad, Rida Khatoun and Lyes Khoukhi (2018). *IoT technologies for smart cities*. *IET Research Journals*, pp. 1–14, Article.

Naselja unutar grada mogu biti opremljena sensorima i monitorom ekoloških uslova, biciklisti i sportisti mogu pronaći najviše "zdravih" ruta i grad može odgovoriti prilagođavanjem saobraćaja ili sadnjom više drveća na određenim područjima. Podaci će biti dostupni svim građanima u cilju promoviranja kreiranja aplikacija za informacije u realnom vremenu za stanovnike. Gradovi su postali središta za razmjenu znanja. Tehnologije i rješenja potrebna za stvaranje pametnih gradova tek počinju da nastaju (Hammi *et al.*, 2018). Slika 1 opisuje primjer razvoja pametnog grada. Gradovi su složene strukture koje se

konstantno podvrgavaju promjenama. Sastoje se od mnogih elemenata višedimenzionalno isprepletenih unutrašnjim i vanjskim vezama (Mora *et al.*, 2017). Oni su centri pružanja usluga, mjesta razvoja kreativnosti i inovacija i transfera znanja. Brojne pogodnosti koje nude gradovi (bolja zdravstvena njega, obrazovanje i zapošljavanje) čine ih poželjnim smjerom za migracije iz ruralnih područja, što rezultira dinamičnijim rastom gradova i depopulacijom ruralnih područja. Trenutno, preko 55% svjetske populacije živi u gradovima, a predviđa se da će ovaj procenat povećati na 68% do 2050 (United Nations Human Settlements Programme, 2020). Međutim, stalni priliv stanovništva zahtijeva razvoj transporta, tehnološke i komunikacijske infrastrukture, pa stoga uključuje i potrebu da se zauzimaju neiskorištena zemljišta i preduzimaju ogromna ulaganja. Ogroman rast stanovništva takođe može dovesti do povećanja nezaposlenosti i smanjenja u kvalitetu života urbanih stanovnika. Širenje gradova je također povezano sa nekoliko procesa koji utiču na životnu sredinu, uključujući povećanu potrošnju energije i zagađenje zraka, smanjen otvoreni prostor i otežano upravljanje otpadom. Tako se moderni gradovi suočavaju sa novim izazovima vezanim za menadžment, logistiku, komunikaciju i zaštitu životne sredine, obezbjeđivanjem visokog kvaliteta života i uključivanjem stanovnika u procese donošenja odluka (Winkowska, Szpilko, 2020). Prodor šireg tehnološkog trenda — interneta i IKT tehnologije — u fizičke strukture grada, dovele su do koncepta pametnog grada. To je integrisani sistem koji koristi napredne tehnologije za poboljšanje protoka informacija, povećanje kvaliteta života stanovnika, te osiguranje održivog ekonomskog razvoja. Pametni gradovi stalno evoluiraju, koristeći najnovija tehnološka dostignuća, što otežava stvaranje jedinstvene, dosljedne definicije pojma. Štaviše, četvrta industrijska revolucija je donijela nove tehnologije neviđenog obima i brzine razvoja. To baca novo svjetlo na funkcioniranje pametnih gradova. Jedan stub četvrte industrijske revolucije je Internet stvari (IoT). To je vizija integrisane i distribuirane mreže povezanih komunikacijskih objekata opremljenih sensorima, predajnicima, i protokolima. IoT rješenja omogućavaju gradovima da optimiziraju korištenje resurse i povećaju kvalitet i dostupnost ponuđenih usluga uz smanjenje troškova aktivnosti.

Nakon uvodnog poglavlja, rad započinjem sa razradom koncepta Interneta stvari. Kada se prvobitno javio termin, kako se hronološki razvijao pojam i kako su ga opisivali neki od istraživača? Nakon toga su prikazani komunikacijski standardi i tok razvoja standarda a sve u svrhu omogućavanja nesmetane komunikacije između različitih uređaja. Osnovne karakteristike IoT kao što su međusobna povezanost, heterogenost, sigurnost, dinamičke promjene i dr. su objašnjenje u kratkim crtama radi boljeg razumijevanja same ideje koja stoji iza pojma interneta stvari a radi boljeg razumijevanja same IoT arhitekture. Prikazana arhitekture uključuje sloj pametnih uređaja, mrežni/ komunikacijski sloj, sloj podrške servisima i aplikacijama te aplikacijski sloj. Predstavljene su najvažnije karakteristike svakog od slojeva. Budući tehnološki razvoj IoT-a, IoT platforme i IoT interoperabilnost su oblasti sa kojima završavam poglavlje interneta stvari. Ne treba posebno naglašavati koliko je bitno pitanje interoperabilnosti za cjelokupno funkcionisanje pametnih gradova. Nakon što smo se upoznali sa pojmom interneta stvari, naredno poglavlje stavlja fokus na pametni grad. Kako se javio ovaj pojam, na šta se odnosi, kako se dalje razvijao? Ovo su samo neka od

pitanja na koja sam dao odgovor u uvodnom dijelu poglavlja *Smart City*. Nakon toga predstaviti ću najvažnije komponente pametnog grada koje uključuju: pametnu poljoprivredu, usluge pametnog grada, pametnu energiju, pametno zdravlje, pametnu kuću, pametnu industriju, pametnu infrastrukturu, pametni transport, zdravlje zgrada, monitoring životne sredine, upravljanje otpadom, pametno parkiranje, navigacijski sistem za vozače gradskog autobusa i pametnu rešetku.

Naredno poglavlje razmatra IoT kao tehnologiju koja omogućava pametni grad. Koji su to zahtjevi koji se stavljaju ispred IoT u svrhu upravljanja milionima povezanih uređaja, sistema i ljudi? U ovom dijelu rada ću predstaviti i IoT arhitekturu za pametne gradove podijeljenu na pet slojeva: senzorski, mrežni, middleware, aplikacijski i poslovni sloj. Predstaviti ću i koncepte *Cloud*, *Fog* i *Edge* modela računanja i analizirati kada je najbolje koristiti svaki od njih. Zatim ću predstaviti najvažnije senzore koje se koriste unutar IoT-a a koji uključuju između ostalog sljedeće: ambijetalne, bio senzore, hemijske, hiraulične, senzore pokreta i druge. Ovdje ću također govoriti i o tehnologijama umrežavanja, mrežnim topologijama, mrežnim arhitekturama i najvažnijim mrežnim protokolima kao što su: RFID, NFC, Bluetooth, Z-Wave, Wi-Fi i drugi. Posljedni dio ovog poglavlja razmatra upotrebu umjetne inteligencije (AI) u pametnim gradovima sa posebnim osvrtom na upotrebu umjetne inteligencije u pametnoj poljoprivredi, pametnom zdravlju i pametnoj kući. IoT izazovi za pametne gradove su brojni i naredno poglavlje razmatra upravo ovu temu. Analizu započinem sa sloja pametnih senzora, zatim prelazim na mrežne i transportne probleme te posebnu pažnju stavljam na pitanja sigurnosti i privatnosti kao najvažnija pitanja u ovom poglavlju sa osvrtom na povjerljivost podataka, upravljanje ključem i upravljanje povjerenjem. U nastavku raspravljam o pitanjima heterogenosti, uskraćivanja usluge i analitikom velikih podataka. Slojevi aplikativnog softvera obiluju problemima koji se odnose na pohranjivanje podataka i njihovo korištenje. Najvažniji izazovi na mrežnom sloju uključuju sljedeće napade: *Man in the middle* napad, napad prislušivanja, napad bočnim kanalom, DoS napad i *spoofing* napad. Poglavlje ću završiti sa analizom izazova na percepcijskom sloju i sistemskim problemima koji se mogu javiti. Nakon što sam predstavio koncept interneta stvari, pametnog grada, IoT kao tehnologije koja omogućava pametni grad i IoT izazove sa kojim se suočava pametni grad, SWOT analiza se nameće kao logičan nastavak rada i prilika da uradimo presjek stanja svega što je prethodno istaknuto u radu. Kroz snage, slabosti, prilike i prijetnje je urađena detaljna analiza primjene IoT tehnologije u projektima pametnog grada. U pretposljednem poglavlju rada su prikazani praktični projekti imeplementacije IoT u smart city rješenjima kompanije BH Telecom. Budući da sam uposlenik ove kompanije, smatram da je ovo dobra prilika da u radu spomenem projekte koje je realizovao BH Telecom a koji se odnose na primjenu IoT tehnologije u projektima pametnog grada. U ovom dijelu rada su predstavljeni projekti pametnog parkinga, pametne rasvjete, pametnog otpada i pametne punionice.

Zaključna razmatranja i buduće preporuke predstavljaju zaključno poglavlje ovog rada koje ima za cilj da odgovori na glavno pitanje iz ovog rada i potvrdi ili opovrgne glavnu hipotezu ovog rada a koja će biti predstavljena u nastavku.

## 1.1. Obrazloženje teme

Nove aplikacije Interneta stvari (IoT) omogućavaju *Smart City* inicijative širom svijeta. Pruža se mogućnost daljinskog nadzora, upravljanja i kontrole uređaja, te stvaranja novih uvida i korisnih informacija iz ogromnih tokova podataka u realnom vremenu. Glavne karakteristike pametnog grada uključuju visok stepen integracije informacionih tehnologija i sveobuhvatnu primjenu informacionih resursa. Ključne komponente urbanog razvoja za pametni grad trebale bi uključivati pametnu tehnologiju, pametnu industriju, pametne usluge, pametno upravljanje i pametan život. Internet stvari predstavlja instaliranje senzora (ambijetalnih, hidrauličnih, senzora prisustva, pokreta i dr.) za sve i njihovo povezivanje na internet putem specifičnih protokola za razmjenu informacija i komunikacije (RFID, Wi-Fi, Bluetooth idr.), kako bi se postiglo inteligentno prepoznavanje, lociranje, praćenje, upravljanje i donošenje ispravnih odluka. Uz tehničku podršku IoT-a, pametni grad treba da ima tri karakteristike: da bude instrumentiran, međusobno povezan i inteligentan. Tek tada se može formirati pametni grad integracijom svih ovih inteligentnih karakteristika u njegovoj naprednoj fazi razvoja IoT-a. Eksplozivni rast aplikacija *Smart City* i *Internet of Things* stvara mnoge naučne i inženjerske izazove koji zahtijevaju velike istraživačke napore kako akademske zajednice tako i industrije, posebno za razvoj efikasnog, skalabilnog i pouzdanog pametnog grada zasnovanog na IoT-u. Novi protokoli, arhitekture i usluge su u velikoj potrebi da odgovore na ove izazove. Teme *Smart City* i *Internet of Things* su teme koje su jako popularne u današnje vrijeme stoga kao neko ko ima određeno inženjersko iskustvo, zatim iskustvo u vođenju IT projekata a u konačnici i neko ko je sam veliki zagovarač upotrebe tehnologija posljednje generacije tema „Primjena IoT tehnologije u projektima Smart City“ je izazvala veliko oduševljenje kod autora ovog rada i nije bilo dileme da je ista bila prvi izbor za master rad. Posljednje dvije godine sam proveo nekoliko projekata unutar vlastitog stana u svrhu kreiranja pametnog doma koji sada uključuje više od desetak pametnih uređaja kao što su: pametni termosta, pametni prekidači u svim sobama, klima uređaj, pametne kamere i pametni video interfon. Svi ovi uređaji su doprinijeli poboljšanju kvaliteta života moje porodice i mene i stoga ću se upravo ovim pitanjima baviti prilikom definisanja predmeta i problema istraživanja i postavljanja odgovarajuće glavne i pomoćne hipoteze.

## 1.2. Predmet i problem istraživanja

IoT tehnologija je u osnovi pametnih gradova. Od povezanih vozila i povezanih zgrada do kanti za smeće povezanih na internet i upravljanja voznim parkom zasnovanim na IoT-u, postoji mnogo IoT rješenja za pametne gradove. Internet stvari za pametne gradove omogućava gradskim zvaničnicima da daljinski upravljaju povezanim uređajima i kontrolišu ih i obezbeđuju nesmetan rad. Iako pametni gradovi uključuju nekoliko faktora, arhitektura pametnog grada u IoT-u obično napreduje kroz tri osnovna koraka. Prvo, IoT senzori (instalirani u cijelom gradu) prikupljaju podatke u realnom vremenu. Zatim, analitički sistemi ili analitičari podataka analiziraju podatke senzora kako bi stekli vrijedne uvide. Konačno, organizatori pametnih gradova koriste uvide kako bi kreirali pametna rješenja,

optimizirali poslovanje i poboljšali efikasnost i usluge koje se pružaju stanovnicima. Sigurnosni sistem zaštitnog zida (firewall) je također neophodan za omogućavanje pouzdanih i sigurnih aplikacija pametnih gradova zasnovanih na IoT-u. Zaštitni zidovi osiguravaju podatke koji se prenose unutar pametne gradske mreže blokirajući neovlašteni pristup podacima grada. Budući pametni grad će također ovisiti o odjelima za pametne gradove (SCD) radi bolje sigurnosti. U kontekstu navedenog predmeta istraživanjima postavlja se pitanje koja veze IoT i pametnih gradova stoga će ovaj rad odgovoriti na sljedeće pitanje:

*Da li je moguć koncept pametnog grada bez IoT ?*

U okviru determiniranog problema istraživanja postavlja se i glavna hipoteza istraživanja koja glasi:

*Bez primjene IoT rješenja nije moguće zamisliti koncept pametnih gradova.*

Pored ove hipoteze, pomoćna hipoteza je:

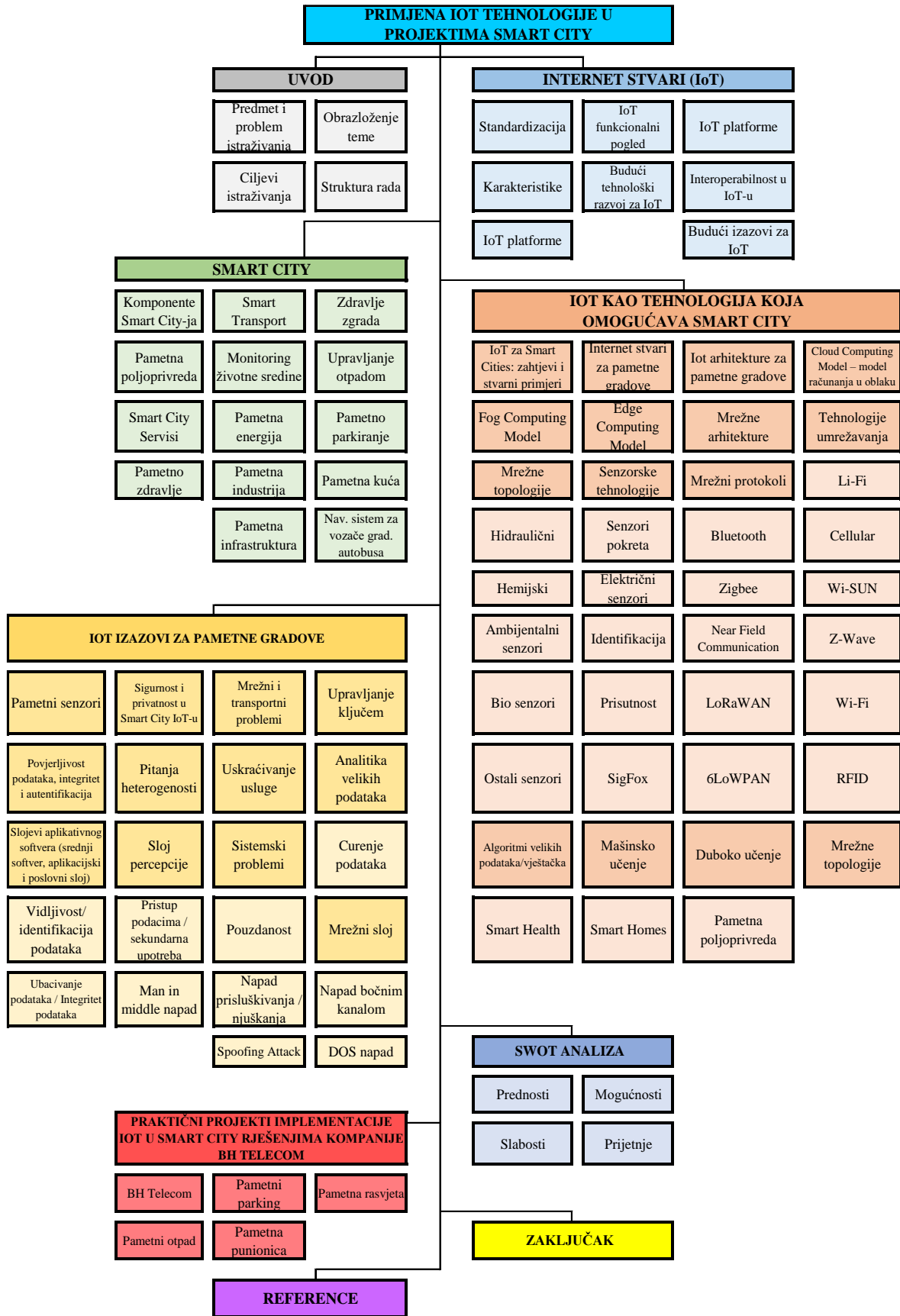
*Sigurna primjena IoT rješenja doprinosi boljem kvalitetu života u gradu.*

### **1.3. Ciljevi istraživanja**

Glavni ciljevi istraživanja su:

- Dati sveobuhvatni pregled interneta stvari sa osnovnim karakteristikama
- Prikazati IoT arhitekturu po slojevima
- IoT platforme, pitanja interoperabilnosti i navesti buduće izazove u razvoju IoT
- Šta je koncept Smart City-ja i pregled najvažnijih komponenti Smart City-a,
- Prikazati IoT kao tehnologiju koja omogućava Smart City, Cloud Computing model, Fog Computing model i Edge Computing model
- Proći kroz senzorsku tehnologiju, tehnologiju umrežavanja, mrežne topologije, mrežne arhitekture IoT sistema i mrežne protokole
- Navesti sve IoT izazove za pametne gradove
- Pitanja sigurnosti i privatnosti, heterogenosti, uskraćivanja usluge, izazovi na aplikativnom, mrežnom, percepcijskom sloju.
- Dati kratki osvrt na upotrebu AI za pametne gradove
- SWOT analiza za IoT u pametnim gradovima
- Predstaviti praktične projekte implementacije IoT za pametne gradove kompanije BH Telecom
- Predstaviti zaključke i buduće izazove u implementaciji IoT rješenja u pametnim gradovima

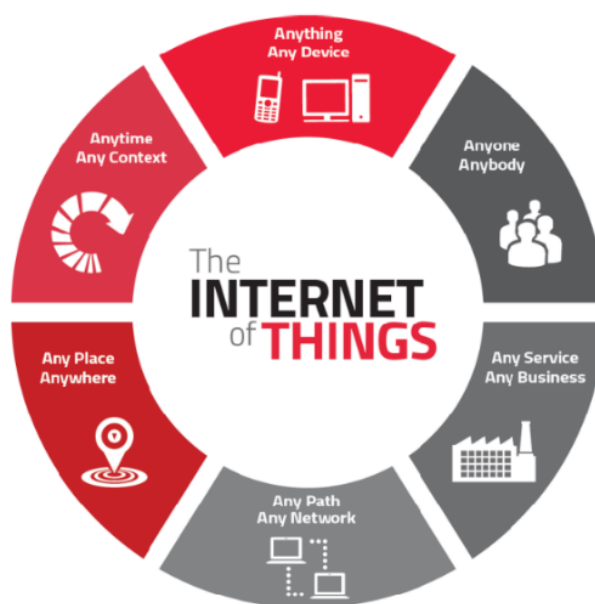
## 1.4. Struktura završnog rada



## 2. INTERNET STVARI (IoT)

Termin “Internet stvari” uveo je Kevin Ashton 1999 godine, koji je iznio viziju svijeta u kojem su fizički objekti povezani sa internetom putem senzora i platforme koja omogućava dvosmjernu razmjenu informacija u realnom vremenu (Borgia, 2014). Međutim, ovaj koncept je stekao popularnost šest godina kasnije, kada je Međunarodna telekomunikacijska Unija predstavila publikaciju „Internet stvari”. To je integrisana mreža koja omogućava dvosmjernu komunikaciju između objekata i korisnika (čovjek-čovjek, stvar-stvar, čovjek-stvari) korištenjem ugrađenih senzora, procesora, aktuatora i komunikacijskih rješenja (npr. Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee).

Slika 2. Internet stvari



Izvor: <https://enterrasolutions.com/the-internet-of-things-is-maturing-rapidly/> (Pristupljeno: 14.02.2024).

Percepcija Interneta stvari zavisi o kontekstu istraživanja. Prema (Lynn *et al.*, 2020) postoje dvije glavne konceptualizacije IoT-a. Prvi uključuje samo tehničke aspekte, dok drugi također razmatra sve interakcije između tehničkih i društvenih elemenata. IoT nije jednostavna tehnologije već kombinacija širokog spektra integrisanih tehnologija i komunikacijskih protokola. To može uključivati, na primjer, *cloud* računarstvo, *fog* računarstvo, *edge* računarstvo, RFID, WSN, mašina-mašina (M2M) komunikaciju i IPv6. Brojni objekti povezani na mrežu mogu generirati ogromne količine podataka. Stoga bi IoT arhitektura trebala osigurati sigurnost, pouzdanost, skalabilnost i interoperabilnost cijelog sistema. Standardna IoT arhitektura sastoji se od pet osnovnih slojeva — percepcijski (uređaj), mrežni (prijenos), srednji sloj - softver, aplikacijski i poslovni sloj. Prvi sloj uključuje fizičke objekti i senzore (RFID, infracrveni senzori, 2D-bar kod), koji prikupljaju podatke iz okoline. Mrežni sloj omogućava da se podaci prenesu na sistem za obradu koristeći tehnologije kao što su Wi-Fi, Bluetooth, 5G, UMTS ili ZigBee. Ovi podaci se

primaju, pohranjuju, obrađuju i analiziraju u srednjem sloju (*middleware-u*) koristeći tehnologije, kao što su analitika velikih podataka i računarstvo u oblaku. Aplikacijski sloj upravlja oblastima IoT aplikacija (pametne kuće, pametna poljoprivreda, pametni gradovi, itd.) sa informacijama ekstraktovanim iz prethodnog sloja. Zatim, podaci prolaze do poslovnog sloja, gdje se kreiraju poslovni modeli, dijagrami i grafikoni za određivanje budućih smjerova djelovanja. IoT može podržati mnoga područja svakodnevnog života, tj. pametno zdravlje, pametno obrazovanje, pametne zgrade, pametna industrija ili pametna poljoprivreda. IoT poboljšava funkcioniranje obrazovnih i medicinskih usluga (pametno obrazovanje, pametno zdravlje), povećava udobnost življenja (pametne kuće, pametne zgrade), jača javnu sigurnost (lično praćenje), olakšava upravljanje resursima i otpadom (pametno upravljanje otpadom), monitoring životne sredine (kvalitet zraka, kvalitet vode, nivo buke) i dozvoljava rano otkrivanje prijetnji i optimizaciju potrošnje energije. Pomaže u upravljanju pametnom transportnom mrežom (pametne ceste, pametni parking, pametni biciklistički sistemi, pametni javni prevoz, pametna vozila, upravljanje saobraćajem u realnom vremenu). IoT rješenja također donose mnoge ekonomske koristi, oblikujući pametne sektore urbane ekonomije (pametna industrija, pametna maloprodaja, pametni turizam). Takođe povećavaju transparentnost aktivnosti gradske uprave i omogućavaju stanovnicima da učestvuju u oblikovanju razvoja grada. Uprkos brojnim prednostima, internet stvari također donosi niz izazova vezanih za

- osiguranje privatnosti i sigurnosti:
- šifriranje podataka;
- upravljanje objektima (uključivanje i isključivanje, promjena ciljne mrežne veze, otkrivanje kvarova, ažuriranje softvera);
- upravljanje identitetom — brojni povezani objekti na mreži stvaraju probleme sa njihovim nomenklaturama i identifikacijama;
- integracija — povezivanje više uređaja sa različitim parametrima i specifikacijama mogu napraviti teškim za postići interoperabilnost cjeline sistema;
- optimizacija potrošnje energije — sve veći broj pametnih uređaja i brzina prijenosa podataka su povezane s većom potrošnjom energije.

Trenutno se vrše ogromna ulaganja u područje interneta stvari kako bi podržali pružanje širokog spektra usluga. Povjerenje u IoT podrazumijeva da se investitori ne ustručavaju da se finansijski obavežu na to, stotine miliona eura su investirale velike korporacije za istraživanje i razvoj interneta stvari.

## **2.1. Standardizacija**

Za implementaciju IoT-a potrebni su komunikacijski standardi koji neprimjetno funkcionišu među različitim objektima. Nekoliko organizacija širom svijeta je uključeno u standardizaciju takve komunikacije. To uključuje Međunarodnu uniju za telekomunikacije (ITU), Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (IEEE), Radna grupa za internet inženjering (IETF), Globalni standard 1 (GS1), Organizacija za unaprjeđenje standarda



strukturiranih informacija (OASIS), Konzorcij za industrijski internet (IIC) i nekoliko drugih. Ukratko ću predstaviti neke od ovih IoT standarda i inicijativa u tabeli 1.

Na nivou mreže, IPv6 preko bežične lične mreže male snage (6LoWPAN) standard može prilagoditi IPv6 protokol za bežičnu komunikaciju. U 2011 godini, IETF je objavio standard IPv6 Routing Protocol (RPL) za mreže male snage. IETF je također pokrenuo Radnu grupu za standardizaciju protokola na aplikacijskom nivou za povezane objekte.

Tabela 1. Glavni komunikacijski standardi unutar IoT

	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ad	802.15.1	802.15.3	802.15.4	802.15.6	NFC
<b>Tip mreže</b>	WLAN	WLAN	WLAN	WLAN	WLAN	WLAN	WPAN	WPAN	WPAN	WBAN	Point-to-Point
<b>Datum</b>	1999	1999	2003	2009	2014	2012	2002/2005	2003	2007	2011	2011
<b>Veličina mreže</b>	30	30	30	30			7	245	65535	250	-
<b>Bitska brzina</b>	54 Mbps	11Mbps	54 Mbps	248 Mbps	3.2 Gbps	≥ 7Gbps	3 Mbps	55 Mbps	250 Kbps	10 Mbps	424 Kbps
<b>Frekvencija</b>	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz	5 GHz	2.4/5/60GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	868-915 MHz 2.4 GHz	402-405 MHz	13.56 Mhz
<b>Domet</b>	120 m	140 m	140 m	50 m indoor 250 m outdoor	30 m	5 m	100 m	100 m	75 m	2-5 m	0.2 m
<b>Modulacija</b>	BPSK, QPSK 16-QAM 64-QAM OFDM	DBPSK DQPSK CCK DSSS	DBPSK DQPSK 16-QAM 64-QAM OFDM	OFDM	OFDM	QAM-256	8DPSK DQPSK PIDQPSK GFSK AFM	QPSK DQPSK 16-QAM 32-QAM 64-QAM	ASK DSSS PSSS		Manschester i Modified Miller
<b>Primjena</b>	WiFi	WiFi	WiFi	WiFi			Bluetooth		ZigBee		

Izvor: Keyur K Patel, Sunil M Patel, (2016). *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges.*

Globalna inicijativa za elektronski kod proizvoda (EPC Global) organizacije Globalni standard 1 (GS1) definiše jedinstveni individualni identifikator za identifikaciju elektroničkog proizvoda i cjelokupne EPC mrežne arhitekture koja definira organizaciju informacionih sistema dizajniranih da osiguraju razmjenu informacija unutar EPC mreže. Jedna od glavnih komponenti je *Object Naming Service* (ONS) koji se zasniva *Domain Name System*-u (DNS).

Unutar IoT-a, jedinstvena IP adresa adresa je obavezna za svaku konekciju. Zbog toga je predložen EPC GS1 kao novi standard. U međuvremenu, OASIS je izdao razne preporuke o mrežnim tehnologijama u IoT-u i tehnologijama razmjene poruka kao što je MQTT, AMQP i DDS. U 2014. godini, novi konzorcij industrijskog interneta (ICC) je pokrenut radi koordinacije i utvrđivanja prioriteta i tehnologija koje omogućavaju industrijski internet. Postoje hiljade osnivača i pripadajućih članova ICC-a i oni uključuju: Bosch, Intel, IBM, Schneider, Huawei, Cisco i nekoliko drugih. Očekuje se da će IoT tehnologije biti dio mreža velikih razmjera, sa brojem uređaja mjenim u hiljadama i oblastima koje se protežu na nekoliko kilometara.

## 2.2. Karakteristike

Osnovne karakteristike IoT-a su sljedeće:

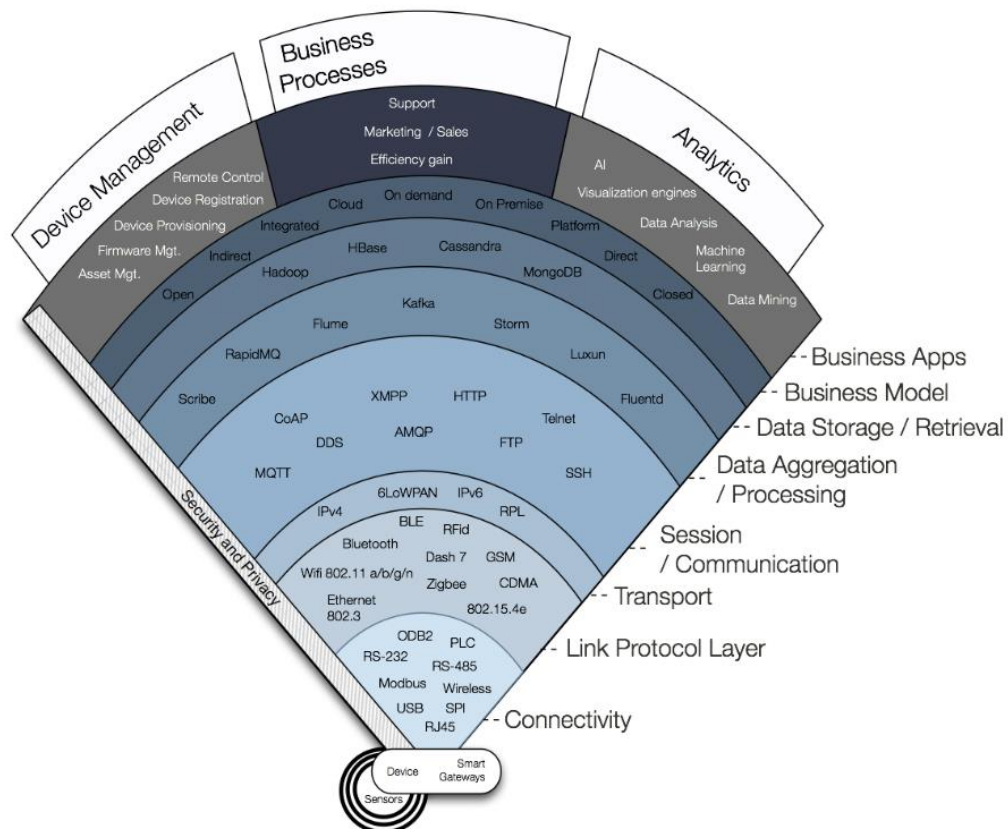
Međusobna povezanost: što se tiče IoT-a, sve se može međusobno povezati s globalnom informacijskom i komunikacijskom infrastrukturom.

Usluge vezane za stvari: IoT je sposoban pružati usluge vezane za stvari unutar ograničenja stvari, kao što je zaštita privatnosti i semantička konzistentnost između fizičkih stvari i njihovih povezanih virtualnih stvari.

Heterogenost: Uređaji u IoT-u su heterogeni jer se zasnivaju na različitim hardverskim platformama i mrežama. Oni mogu komunicirati s drugim uređajima ili servisnim platformama putem različitih mreža.

Dinamičke promjene: Stanje uređaja se mijenja dinamički, na primjer, spavanje i buđenje, povezani i/ili isključeni, kao i kontekst uređaja uključujući lokaciju i brzinu. Štaviše, broj uređaja se može dinamički mijenjati.

Slika 3. IoT protokol stack



Izvor: Antony Passemard, (2014). Protocol landscape fpt IoT device to business processes, v2.

Ogroman razmjjer: Broj uređaja kojima treba upravljati i koji međusobno komuniciraju bit će barem za red veličine veći od uređaja povezanih na trenutni Internet. Još kritičnije će biti

upravljanje generisanim podacima i njihovo tumačenje u svrhu primjene. Ovo se odnosi na semantiku podataka, kao i na efikasno rukovanje podacima.

**Sigurnost:** Kako dobijamo koristi od IoT-a, isto tako ne smijemo zaboraviti na sigurnost. Kao kreatori i primaoci IoT-a, isti moramo dizajnirati radi sigurnosti. To uključuje sigurnost naših ličnih podataka i sigurnost našeg fizičkog blagostanja. Osiguravanje krajnjih tačaka, mreža i podataka koji se kreću kroz sve to znači stvaranje sigurnosne paradigme koja će se skalirati.

**Povezivanje:** Povezivanje omogućava mrežnu pristupačnost i kompatibilnost. Pristupačnost je ulazak u mrežu dok kompatibilnost pruža uobičajenu mogućnost konzumiranja i proizvodnje podataka.

### **2.3. IoT arhitektura**

IoT arhitektura se sastoji od različitih slojeva tehnologija koje podržavaju IoT. Služi da ilustruje kako se različite tehnologije odnose jedna prema drugoj i da iskomunicira skalabilnost, modularnost i konfiguraciju IoT implementacije u različitim scenarijima. Slika 4. prikazuje detaljnu arhitekturu IoT-a. Funkcionalnost svakog sloja je opisana u nastavku:

#### **2.3.1. Pametni uređaj / sloj senzora**

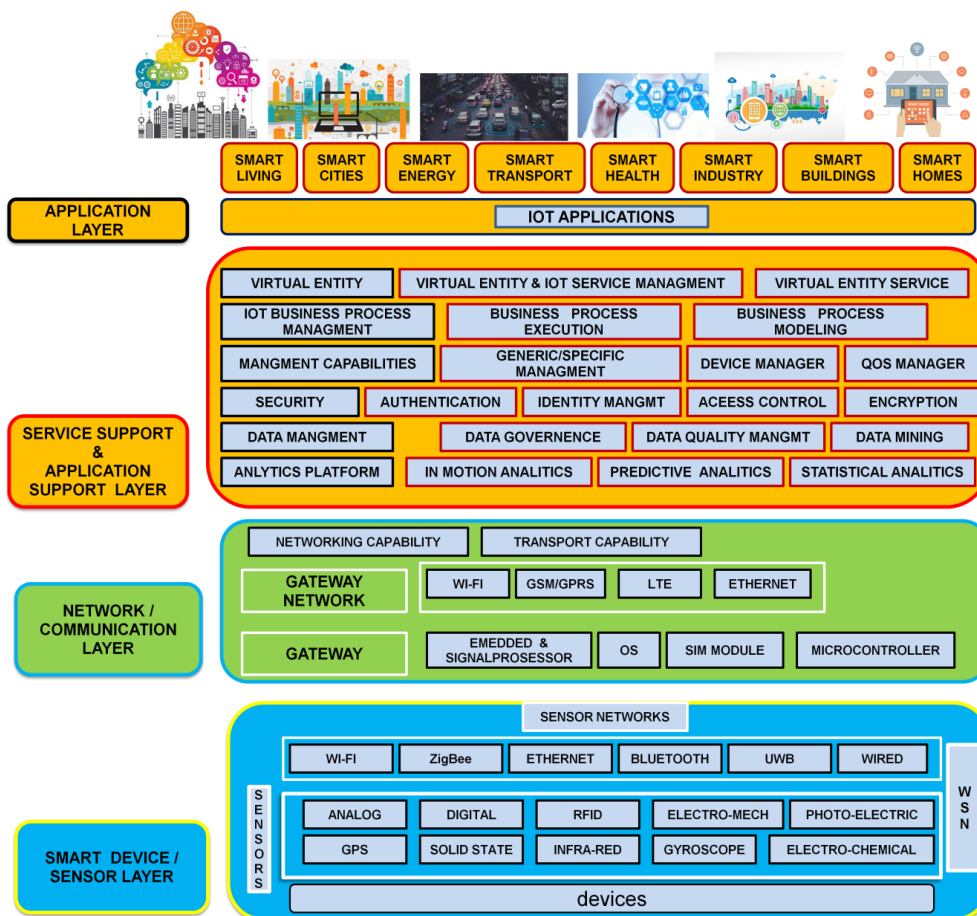
Najniži sloj čine pametni objekti integrirani sa sensorima. Sensori omogućavaju međusobno povezivanje fizičkog i digitalnog svijeta omogućavajući prikupljanje i obradu informacija u realnom vremenu. Postoje različite vrste senzora za različite namjene. Sensori imaju kapacitet da vrše mjerenja kao što su temperatura, kvalitet zraka, brzina, vlažnost, pritisak, protok, kretanje i električna energija itd. U nekim slučajevima mogu imati i određeni stepen memorije, što im omogućava da snime određeni broj mjerenja. Senzor može izmjeriti fizičku osobinu i pretvoriti je u signal koji instrument može razumjeti. Sensori su grupirani prema njihovoj jedinstvenoj namjeni kao što su senzori okoline, senzori tijela, senzori kućnih aparata i telematski senzori vozila itd.

Većina senzora zahtijeva povezivanje sa senzorskim gateway-ima. To može biti u obliku lokalne mreže (LAN) kao što su Ethernet i Wi-Fi veze ili lične mreže (PAN) kao što su ZigBee, Bluetooth i Ultra Wideband (UWB). Za senzore koji ne zahtijevaju povezanost sa agregatorima senzora, njihova povezanost sa pozadinskim serverima/aplikacijama može se osigurati korištenjem Wide Area Network (WAN) kao što su GSM, GPRS i LTE. Sensori koji koriste konekciju male snage i niske brzine prenosa podataka, obično formiraju mreže poznate kao bežične senzorske mreže (WSN). WSN-ovi postaju sve popularniji jer mogu smjestiti daleko više senzorskih čvorova uz zadržavanje adekvatnog vijeka trajanja baterije i uz pokrivanje velikih područja.

### 2.3.2. Gatewayi i mreže

Ovi sićušni senzori će proizvoditi ogromnu količinu podataka, a za to je potrebna robusna žična ili bežična mrežna infrastruktura visokih performansi kao transportni medij. Trenutne mreže, često povezane sa veoma različitim protokolima, korištene su za podršku mreža, mašina-mašina (M2M) i njihovih aplikacija. Sa potražnjom koja je potrebna za opsluživanje šireg spektra IoT usluga i aplikacija kao što su transakcione usluge velike brzine, aplikacije svjesne konteksta, itd., potrebno je više mreža s različitim tehnologijama i pristupnim protokolima da rade jedna s drugom u heterogenoj konfiguraciji.

Slika 4. IoT arhitektura



Izvor: Keyur K Patel, Sunil M Patel, (2016). *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges.*

Ove mreže mogu biti u obliku privatnih, javnih ili hibridnih modela i izgrađene su da podrže komunikacijske zahtjeve za kašnjenje, propusnost ili sigurnost.

### 2.3.3. Sloj usluge upravljanja

Usluga upravljanja omogućava obradu informacija kroz analitiku, sigurnosne kontrole, modeliranje procesa i upravljanje uređajima. Jedna od važnih karakteristika sloja usluge

upravljanja je mehanizam poslovnih i procesnih pravila. IoT spaja vezu i interakciju objekata i sistema zajedno pružajući informacije u obliku događaja ili kontekstualnih podataka kao što su temperatura robe, trenutna lokacija i podaci o prometu. Neki od ovih događaja zahtijevaju filtriranje ili usmjeravanje na sisteme za naknadnu obradu, kao što je hvatanje periodičnih senzornih podataka, dok drugi zahtijevaju odgovor na neposredne situacije kao što je reagovanje na hitne slučajeve u vezi sa zdravstvenim stanjem pacijenta. Mehanizmi pravila podržavaju formulaciju logike odlučivanja i pokreću interaktivne i automatizirane procese kako bi se omogućio IoT sistem koji bolje reagira.

U oblasti analitike, koriste se različiti analitički alati za izdvajanje relevantnih informacija iz ogromne količine sirovih podataka i uz obradu mnogo većom brzinom. Analitika poput analize u memoriji omogućava da se velike količine podataka keširaju u memoriju sa slučajnim pristupom (RAM) umjesto da se pohranjuju na fizičkim diskovima. Analitika u memoriji smanjuje vrijeme upita podataka i povećava brzinu donošenja odluka. Streaming analitika je još jedan oblik analitike gdje se analiza podataka, koja se smatra podacima u pokretu, mora provoditi u realnom vremenu tako da se odluke mogu donijeti u nekoliko sekundi. Upravljanje podacima je sposobnost upravljanja protokom informacija podataka. Uz upravljanje podacima u sloju usluge upravljanja, informacijama se može pristupiti, integrirati i kontrolirati. Aplikacije višeg sloja mogu biti zaštićene od potrebe za obradom nepotrebnih podataka i smanjiti rizik od otkrivanja privatnosti izvora podataka. Tehnike filtriranja podataka kao što su anonimizacija podataka, integracija podataka i sinhronizacija podataka, koriste se za skrivanje detalja informacija uz pružanje samo bitnih informacija koje su upotrebljive za relevantne aplikacije. Uz korištenje apstrakcije podataka, informacije se mogu izdvojiti kako bi se obezbijedio zajednički poslovni pogled na podatke kako bi se postigla veća agilnost i ponovna upotreba u različitim domenima. Sigurnost se mora provoditi u cijeloj dimenziji IoT arhitekture, od sloja pametnih objekata pa sve do sloja aplikacije. Sigurnost sistema sprječava hakovanje sistema i kompromitovanje od strane neovlaštenog osoblja, čime se smanjuje mogućnost rizika.

#### 2.3.4. Sloj aplikacije

IoT aplikacija pokriva „pametna“ okruženja/prostore u domenima kao što su: saobraćaj, zgrada, grad, stil života, maloprodaja, poljoprivreda, fabrika, lanac snadbijevanja, hitna pomoć, zdravstvo, interakcija korisnika, kultura i turizam, životna sredina i energija.

### 2.4. IoT funkcionalni pogled

Koncept Interneta stvari odnosi se na stvari koje se mogu jedinstveno identifikovati sa njihovim virtuelnim prikazima u strukturi nalik internetu i IoT rešenjima koja se sastoje od niza komponenti kao što su: (1) Modul za interakciju sa lokalnim IoT uređajima. Ovaj modul je odgovoran za prikupljanje zapažanja i njihovo prosljeđivanje udaljenim serverima radi analize i trajnog skladištenja. (2) Modul za lokalnu analizu i obradu zapažanja dobijenih IoT uređajima. (3) Modul za interakciju sa udaljenim IoT uređajima, direktno preko interneta.

Ovaj modul je odgovoran za prikupljanje zapažanja i njihovo prosljeđivanje udaljenim serverima radi analize i trajnog skladištenja. (4) Modul za analizu i obradu podataka specifičnih za aplikaciju. Ovaj modul radi na aplikacijskom serveru koji opslužuje sve klijente. Uzima zahtjeve mobilnih i web klijenata i relevantna IoT zapažanja kao ulaz, izvršava odgovarajuće algoritme za obradu podataka i generiše izlaz u smislu znanja koje se kasnije predstavlja korisnicima. (5) Korisničko sučelje (web ili mobilno): vizualni prikaz mjerenja u datom kontekstu (na primjer na karti) i interakcija s korisnikom, tj. definisanje korisničkih upita.

## 2.5. Budući tehnološki razvoj IoT-a

Razvoj omogućavajućih tehnologija kao što su poluvodička elektronika, komunikacije, senzori, pametni telefoni, ugrađeni sistemi, umrežavanje u oblaku, virtuelizacija mreže i softver bit će od suštinskog značaja kako bi se omogućilo fizičkim uređajima da rade u promjenjivim okruženjima i da budu povezani bilo gdje cijelo vrijeme. Dok je IoT arhitektonski složen na slojeve, tehnologije su kategorizirane u tri grupe.

Prva grupa tehnologija utiče na uređaje, mikroprocesorske čipove:

- Sensori male snage za energetska održivost
- Inteligencija senzora na polju
- Minijturni čipseti
- Bežična senzorska mreža za povezanost senzora

Druga grupa uključuje tehnologije koje podržavaju dijeljenje mreže i rješavaju probleme s kapacitetom i kašnjenjem:

- Mrežne dijeljene tehnologije kao softverski definisane radio i kognitivne mreže
- Mrežne tehnologije koje adresiraju kapacitete i kašnjenje kao LTE i LTE-A

Treća grupa utiče na usluge upravljanja koje podržavaju IoT aplikacije:

- inteligentne tehnologije donošenja odluka kao što su računarski servisi svjesni konteksta, prediktivna analitika, složena obrada događaja i analiza ponašanja;
- tehnologije brzine procesiranja podataka kao što su memorija i analitika strimanja.

## 2.6. IoT platforme

Značajan rast u implementaciji IoT-a doveo je do pojave IoT platformi koje podržavaju sljedeće osobine:

- Jednostavna integracija novih uređaja i usluga.
- Komunikacija između uređaja (objekata i servera).
- Upravljanje različitim uređajima i komunikacijskim protokolima.

- Prijenos tokova podataka i kreiranje novih aplikacija.
- Interoperabilnost između komponenti, objekata, pristupnika, podataka u oblaku, i softverske aplikacije.
- Skalabilnost IoT infrastrukture.

Prema nivou pruženih usluga, IoT platforme mogu biti podijeljene na:

1. Infrastruktura-kao-usluga u pozadini: pružaju prostor za hosting i procesorsku snagu za aplikacije i usluge, npr. IBM Bluemix .
2. M2M platforme za povezivanje: fokusiraju se samo na povezanost IoT objekata putem telekomunikacionih mreža i protokola, npr. Comarchy i AirVantagez
3. Hardverski specifične softverske platforme: brojne kompanije prodaju svoju vlasničku tehnologija koja uključuje hardversku i softversku pozadinsku logiku, npr. Google Nest
4. Proširenja enterprise softvera: neke kompanije za softver i operativne sisteme kao što su Windows i Apple sve više dozvoljavaju integraciju IoT uređaja kao što su pametni telefoni, povezani satovi i kućni uređaji.

*Tabela 2. Komparacija glavnih IoT platformi*

Platforma	Interoperabilnost	Osnovne funkcije	Najčešći use case
<b>AWS IoT</b>	HTTP MQTT WebSockets	AWS IoT Core Connectivity Authentication Rules engine Development environment	Smart city Povezane kuće Agrikultura
<b>Microsoft Azure IoT</b>	MQTT AMQP oba preko WebSockets HTTPS	Azure IoT Hub Connectivity Authentication Device monitoring Device management IoT Edge	Zdravstvena zaštita Prodaja Proizvodnja
<b>Oracle IoT</b>	HTTP MQTT	Oracle IoT Cloud Service Connectivity Asset monitoring Data analysis Data integration	Pametna proizvodnja Prediktivno održavanje Povezana logistika
<b>Particle</b>	HTTP	Connectivity Hardware Software	HVAC Sistemi Oprema za pametnu energiju Industrijska oprema Monitoring emisija Elektična vozila
<b>IRI Voracity</b>	MQTT	Data Discovery Data Integration Data Migration Data governance Data analysis	Zdravstvena zaštita E-commerce Transport

*Izvor: Muts, Ivan. (2024). 10+ Best IoT Cloud Platforms in 2024. Dostupno na: <https://euristiq.com/best-iot-cloud-platforms/> (Pristupljeno: 15.03.2024)*

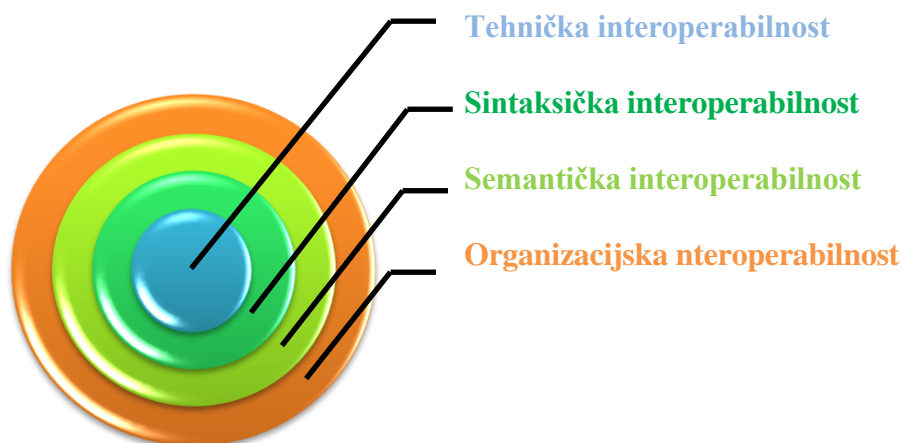
Kao što sam ranije spomenuo, broj IoT platformi raste ubrzanim tempom. U tabeli 2 je prikazano poređenje različitih platformi sa opisom njihove interoperabilnosti, njihovih osnovnih funkcija i najčešćih use caseova.

## 2.7. Interoperabilnost u IoT-u

Interoperabilnost je ključni izazov u oblastima IoT-a. Ovo je zbog unutrašnje strukture IoT-a kao: (1) visokodimenzionalne, sa koegzistencijom mnogih sistema (uređaja, senzora, opreme, itd.) u okruženju u kojem treba da komuniciraju i razmjenjuju informacije; (2) visoko heterogena, pri čemu su ove ogromne sisteme osmislili mnogi proizvođači i dizajnirani su za mnoge različite svrhe i ciljani na različite domene aplikacija, što čini izuzetno teškim postizanjem globalnih sporazuma i široko prihvaćenih specifikacija; (3) dinamična i nelinearna, gdje nove stvari (koje nisu ni razmatrane na početku) ulaze (i napuštaju) okruženje cijelo vrijeme i koje podržavaju nove nepredviđene formate i protokole, koji trebaju komunicirati i dijeliti podatke u IoT; i (4) teško opisati/modelirati zbog postojanja mnogih formata podataka, opisanih na mnogo različitih jezika, koji mogu dijeliti (ili ne) iste principe modeliranja i koji mogu biti međusobno povezani na mnogo načina. Ovo kvalifikuje interoperabilnost u IoT-u kao problem kompleksne prirode. Različite vrste interoperabilnosti su tehnička interoperabilnost, sintaksička interoperabilnost, semantička interoperabilnost, organizaciona interoperabilnost.

Tehnička interoperabilnost se obično povezuje sa hardverskim/softverskim komponentama, sistemima i platformama koje omogućavaju komunikaciju između mašine. Ova vrsta interoperabilnosti je često usredsređena na (komunikacijske) protokole i infrastrukturu potrebnu da ti protokoli funkcionišu.

Slika 5. Dimenzije interoperabilnosti



Izvor: Keyur K Patel, Sunil M Patel, (2016). *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges.*

Sintaksička interoperabilnost se obično povezuje sa formatima podataka. Svakako, poruke koje se prenose komunikacijskim protokolima moraju imati dobro definiranu sintaksu i kodiranje, čak i ako su samo u obliku bit-tabela.



Semantička interoperabilnost se obično povezuje sa značenjem sadržaja i tiče se ljudske, a ne mašinske interpretacije sadržaja. Dakle, interoperabilnost na ovom nivou znači da postoji zajedničko razumjevanje među ljudima o značenju sadržaja (informacija) koji se razmjenjuju. Organizaciona interoperabilnost, kao što naziv implicira, je sposobnost organizacija da efikasno komuniciraju i prenose (smislene) podatke (informacije) iako mogu da koriste niz različitih informacionih sistema preko veoma različitih infrastruktura, moguće u različitim geografskim regionima i kulturama. Organizaciona interoperabilnost zavisi od uspješne tehničke, sintaksičke i semantičke interoperabilnosti. Tehnička interoperabilnost samo garantuje ispravan prenos bitova, ali ne govori ništa o značenju ovih bitova i šta oni predstavljaju, čak ni da li je u pitanju glas, video ili podaci. To je zadatak standarda na sintaksičkom sloju, koji definišu sintaksu pojedinih usluga. Dok standardi za tehničku i sintaksičku interoperabilnost omogućavaju razmjenu podataka nezavisnu od sadržaja, semantička interoperabilnost je vrlo specifična za aplikaciju i stoga ovisi o sadržaju specifičnom za uslugu. Kao semantička interoperabilnost, organizaciona interoperabilnost je specifična za aplikaciju ili uslugu.

## **2.8. Budući izazovi za IoT**

Danas postoje ključni izazovi i implikacije koje treba riješiti prije nego što dođe do masovnog usvajanja IoT-a. Privatnost i sigurnost Kako IoT postaje ključni element budućeg interneta, a korištenje Interneta stvari za velike, djelimično kritične sisteme stvara potrebu da se na adekvatan način adresiraju funkcije povjerenja i sigurnosti. Novi izazovi identifikovani za privatnost, povjerenje i pouzdanost su: pružanje povjerenja i kvaliteta informacija u modelima zajedničkih informacija kako bi se omogućila ponovna upotreba u mnogim aplikacijama, pružanje sigurne razmjene podataka između IoT uređaja i potrošača njihovih informacija i pružanje zaštitnih mehanizama za ranjive uređaje. Troškovi u odnosu na upotrebljivost IoT koristi tehnologiju za povezivanje fizičkih objekata na Internet. Da bi usvajanje IoT-a raslo, cijena komponenti koje su potrebne za podršku sposobnosti kao što su senzori, praćenje i kontrolni mehanizmi moraju biti relativno jeftini u narednim godinama. Interoperabilnost U tradicionalnom Internetu, interoperabilnost je najosnovnija osnovna vrijednost; prvi uslov za internet konekciju je da "povezani" sistemi budu u stanju da "razgovaraju istim jezikom" protokola i kodiranja. Različite industrije danas koriste različite standarde za podršku svojim aplikacijama. Uz brojne izvore podataka i heterogene uređaje, upotreba standardnih interfejsa između ovih različitih entiteta postaje važna. Stoga IoT sistemi treba da se nose sa visokim stepenom interoperabilnosti. Upravljanje podacima Upravljanje podacima je ključni aspekt u Internetu stvari. Kada se razmatra svijet objekata koji su međusobno povezani i koji neprestano razmjenjuju sve vrste informacija, količina generiranih podataka i procesi uključeni u rukovanje tim podacima postaju kritični.

Problemi sa energijom na nivou uređaja. Jedan od suštinskih izazova u IoT-u je kako međusobno povezati "stvari" na interoperabilan način, uzimajući u obzir energetska ograničenja, znajući da je komunikacija zadatak koji najviše troši energiju na uređajima.

### 3. SMART CITY

Koncepti urbanog razvoja su se promijenili kroz godine, ovisno o trenutnim potrebama i trendovima. Sa početkom digitalnog računarstva 1950. godine, digitalne tehnologije su prodrle u gradove. Prije početka 21. vijeka postojale su već stotine publikacija koje se bave digitalizacijom gradova i njihovim uticajem na urbano stanovništvo. Novi koncepti su se pojavili s informatičkom tehnologijom kao katalizatorom urbanog razvoja, tj. „izračunljivi“ gradovi ili sajber gradovi (Kitchin *et al.*, 2018). 90-ih godina prošlog vijeka pojavio se koncept pametnog grada razmatranjem urbanog razvoja (Dameri, Cocchia, 2011). Širenje interneta i razvoj informacijske i komunikacijske tehnologije omogućava lakše kreiranje, analizu i prijenos informacija. Povećala se kreativnost i inovativnost i započelo stvaranje informatičkog društva. Proširenje postojećeg modela grada u novu digitalnu dimenziju zahtijeva integraciju fizičkog i virtuelnog okruženja. Potencijal novih tehnologija za efikasno i efektivno funkcionisanje teritorijalnih jedinica čini pametne gradove atraktivnom vizijom za istraživače, kreatore politika i urbaniste (Amico *et al.*, 2020). Osim koncepta pametnog grada, pojmovi povezanog koncepta se pojavljuju u literaturi, često se koriste kao alternativni termini do pametnog grada, odnosno digitalni grad, žičani grad, grad informacija, sveprisutan grad, grad senzora/senzora, hibridni grad ili elektronski grad. Nema sumnje da je koncept pametnog grada postao najpopularniji. Međutim, definitivno povećanje interesovanja u naučnoj zajednici dogodio se nakon 2011. godine kada je Evropska unija počela da promovira "pametni" princip kao jedan od glavnih pravaca urbanog razvoja. Unatoč rastućoj popularnosti, nijedna, koherentna definicija pametnog grada još nije stvorena.

Može se primijetiti da se dimenzije pametnog grad ne fokusiraju samo na tehnološke aspekte. Grad se može nazvati pametnim ako ulaganja (u transportnu infrastrukturu, informacionu i komunikacionu infrastrukturu i društveni kapital) uz istovremeno racionalno upravljanje resursima i uključenošću stanovništva u proces upravljanja, osigurava visok kvalitet života i ekonomski rast (Caragliu, Del Bo, Nijkamp, 2011). Tehnologije igraju ulogu alata koji poboljšavaju funkcionisanje pomenutim oblastima. Prema Partridgeu (2004), pametan grad je mjesto gdje tehnologija olakšava pristup javnim uslugama, ubrzava protok informacija i jača slobodu govora. Prema Washburnu *et al.* (2010), koncept je koristiti *Smart Computing* tehnologije za kreiranje ključnih usluga i elemente urbane infrastrukture. Iako većina definicija naglašava da su tehnologije samo alat za postizanje određenih ciljeva, nesumnjivo jesu jedan od ključnih elemenata koji dokazuju "inteligenciju". Pametan grad se definiše kao grad koji povezuje fizičku infrastrukturu, ICT infrastrukturu, društvenu infrastrukturu i poslovnu infrastrukturu kako bi se iskoristila kolektivna inteligencija grada (Harrison, 2010). Grad može biti pametan kroz veliku primjenu IoT-a (posebno putem komunikacija mašina-mašina i ljudi-mašina). Bežične senzorske mreže (WSN), senzorski krak IoT-a, neprimjetno se integrišu u formiranje urbane infrastrukture i kreiranje "digitalne kože" oko njega.

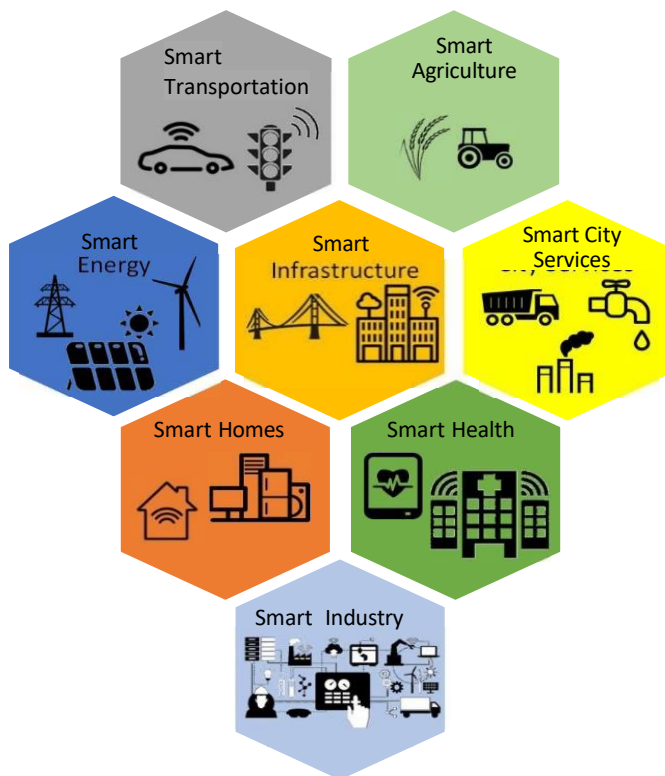
### 3.1. Komponente Smart City-ja

Pametani grad se sastoji od nekoliko komponenti koje su ilustrovane na slici 6. Smart city aplikacije obično imaju četiri aspekta povezana s njima, prvi je prikupljanje podataka, sljedeći je njihov prijenos/prijem, treći je skladištenje i četvrti je analiza. Prikupljanje podataka ovisi o aplikaciji i predstavlja pravi pokretač za razvoj senzora u raznim domenima.

Drugi dio je razmjena podataka, to uključuje prijenos podataka od jedinica za prikupljanje podataka prema oblaku za skladištenje i analize. Ovaj zadatak je ostvaren na nekoliko načina, u mnogim poduhvatima pametnih gradova imaju Wi-Fi mreže širom grada, koriste se 4G i 5G tehnologije, kao i razne vrste lokalnih mreža koje mogu prenositi podatke bilo na lokalnom nivou ili na globalnom nivou. Treća faza je skladištenje u oblaku, koriste se različite šeme skladištenja za uređenje i organizovanje podataka tako da budu upotrebljivi za četvrtu fazu, a to je analiza podataka. Analiza podataka se odnosi na izdvajanje obrazaca i zaključaka iz prikupljenih podataka za lakše donošenje odluka.

U nekim situacijama, jednostavna analiza kao što je donošenje osnovnih odluka i agregiranje bi također radilo. Za složenije donošenje odluka, dostupnost oblaka omogućava ne samo heterogeno prikupljanje/skladištenje i obradu podataka već i analizu korištenjem statističkih metoda kao i algoritma mašinskog i dubokog učenja u realnom vremenu.

Slika 6. Komponente pametnog grada



Izvor: Abbas Shah Syed, Daniel Sierra-Sosa, Anup Kumar, Adel Elmaghraby, (2021). *IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges*.

### 3.2. Pametna poljoprivreda

Sigurnost hrane jedan je od najvažnijih dijelova održivih razvojnih ciljeva Ujedinjenih nacija za 2030. godinu. Uz povećanje svjetske populacije, pogoršanje klimatskih promjena koje uzrokuju promjenjivo vrijeme u svjetskim centrima za hranu, trku da se osigura da proizvodnja hrane postane održiva i da se resursi koji se smanjuju, kao što je voda, koriste efikasno, je visoki prioritet za zemlje širom svijeta. Pametna poljoprivreda jeste korištenje senzora ugrađenih u biljke i polja za mjerenje različitih parametara kako bi se pomoglo u donošenju odluka i prevenciji/bolesti, štetočina itd (Koubaa *et al.*, 2020). Dio paradigme pametne poljoprivrede je precizna poljoprivreda, koja uključuje senzore koji se postavljaju u biljke kako bi se osigurala ciljana mjerenja i omogućila primjena ciljanih mehanizama njege. Precizna poljoprivreda će biti neophodna za sigurnost hrane u budućnosti (O' Grady *et al.*, 2019) i stoga jeste ključni dio borbe za održivu proizvodnju hrane. Glavne primjene AI u IoT-u za poljoprivredu su praćenje usjeva/otkrivanje bolesti i njega usjeva zasnovana na podacima i odlučivanju.

### 3.3. Usluge pametnog grada

Usluge pametnog grada obuhvataju aktivnosti koje održavaju gradsku populaciju uključuju općinske zadatke kao što su snadbijevanje vodom, upravljanje otpadom, kontrola životne sredine i monitoring itd. Senzori za kvalitet vode mogu se postaviti za kontinuirano obezbjeđivanje ažuriranja kvalitete vode koja se koristi u gradu i otkrivanje curenja. Jedna popularna komponenta inicijative pametnih gradova je upravljanje otpadom, a dio je mnogih ranije spomenutih inicijativa za pametni grad, od šahtova u Barceloni (Španija) do posjedovanja kanti opremljenih sensorima i povezanih s oblakom kako ne bi samo informirale relevantne vlasti da ih isprazne već i korištenje AI za određivanje najboljeg puta do smanjenja troškova (Pardini *et al.*, 2019). Senzori se takođe mogu koristiti za praćenje uslova životne sredine u gradu kako bi utvrditi nivo zagađenja i za usmjeravanje građana do sljedećeg besplatnog parking mjesta radi uštede troškova goriva.

### 3.4. Pametna energija

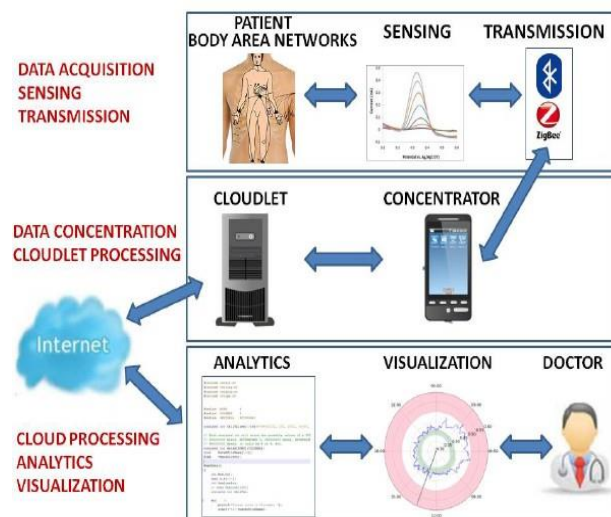
Tipični električni sistemi imaju jednosmjerni tok energije iz glavnog izvora generatora, obično je to hidroelektrana ili elektrana na fosilna goriva. Proizvodnja električne energije je kontrolisana putem povratnih informacija od trafostanica, međutim, budući da nema povratnih informacija od krajnjih potrošača, shema proizvodnje energije koja se koristi sa ovim sistemima zahtijeva da snaga koju proizvode ovi izvori uveliko nadmašuje potražnju da bi se osiguralo neprekidno snadbijevanje strujom. Proces otkrivanja kvarova i izvođenja korektivnih radnji u takvim sistemima je takođe proces koji oduzima vrijeme. Štaviše, tehnologije obnovljive energije postaju jeftinije, današnji potrošač ne samo da ima opskrbu iz glavnog izvora, već obavlja i vlastitu generaciju. *Smart Grids* je korištenje ICT tehnologija kako bi trenutne i novoinstalirane mreže bile vidljivije, kako bi se omogućila distribuciju

proizvodnje energije kako na strani potrošača tako i na strani komunalnih usluga te uvode sposobnosti samoizlječenja u mreži. Jedan aspekt pametnih mreža je da se podaci o snazi u realnom vremenu prenose komunalnim preduzećima na različitim tačkama mreže kroz vodove za snadbijevanje do kupca. Budući da pametne mreže pružaju podatke u stvarnom vremenu o korištenju potrošača, to omogućava bolje upravljanje proizvodnjom električne energije koristeći modele predviđanja razvijene kroz prikupljene podatke o potrošnji, integraciji različitih izvora energije kao i samoizlječenje mreže (Shirazi, Jadid, 2018) kako bi se osiguralo nesmetano napajanje.

### 3.5. Pametno zdravlje

Pametno zdravlje se odnosi na korištenje ICT-a za poboljšanje dostupnosti i kvaliteta zdravstvene zaštite. Sa povećanjem broja stanovnika i rastućim troškovima zdravstvene zaštite, ovo područje je od posebnog značaja za istraživače kao i zdravstvene radnike. Trenutni zdravstveni sistemi jesu preopterećeni i stoga ne mogu zadovoljiti sve veću potražnju stanovništva. U tom smislu, pametno zdravlje ima za cilj osigurati da zdravstvena zaštita bude dostupna što većem broju ljudi putem telemedicinskih usluga (Andreao *et al.*, 2018) i poboljšane dijagnostičke pomoći ljekarima koristeći umjetnu inteligenciju - AI (Keane, Topol, 2018).

Slika 7. Komponente udaljenog sistema za nadzor pacijenta koji je zasnovan na IoT - Cloud infrastrukturi



Izvor: Moeen Hassanlieragh, Alex Page, Tolga Soyata, Gaurav Sharma, Mehmet Aktas, Gonzalo Mateos, Burak Kantarci, and Silvana Andreescu, (2015). Health monitoring and management using Internet-of-Things (IoT) sensing with cloud-based processing: Opportunities and challenges, In Services Computing (SCC). 2015 IEEE International Conference on, p 285–292.

Uz sveprisutnost mobilnih telefona i zdravstvenih uređaja koji mogu uhvatiti podatke u stvarnom vremenu o zdravlju ljudi (EKG, temperatura, zasićenost tijela kisikom i drugi biosenzori) uz istovremeno bilježenje dnevnih aktivnosti i otkrivanje abnormalnosti kretanja pomoću inercijalnih senzora, postalo je moguće iskoristiti mogućnosti oblaka za obrada ovih

podataka radi donošenja boljih zdravstvenih odluka. Time se smanjuju ukupni troškovi kao i opterećenje zdravstvenih ustanova. Minijaturni senzori mogu biti ugrađeni u tijelo ili montirani na površinu tijela. Senzori komuniciraju s medicinskim uređajima koristeći različite tehnologije WPAN (ZigBee, 6LowPAN, CoAP, itd.). Senzori su također u stanju da mjere različite informacije o fiziološkim parametrima (npr. protok krvi, brzina disanja, krvni pritisak, PH vrijednost, tjelesna temperatura i tako dalje), koji se prikupljaju i analiziraju putem udaljenih servera (slika 7). Postavlja se zahtjev nosivosti kao fizičkog ograničenja dizajna ovih senzora. Senzori moraju biti lagani, mali i ne smiju ometati pokrete pacijenta i dovoditi u pitanje mobilnost. Štaviše, zato što senzori moraju da rade sa malim baterijama uključenim u nosivo pakovanje, moraju biti visoko energetske efikasni.

### **3.6. Pametna kuća**

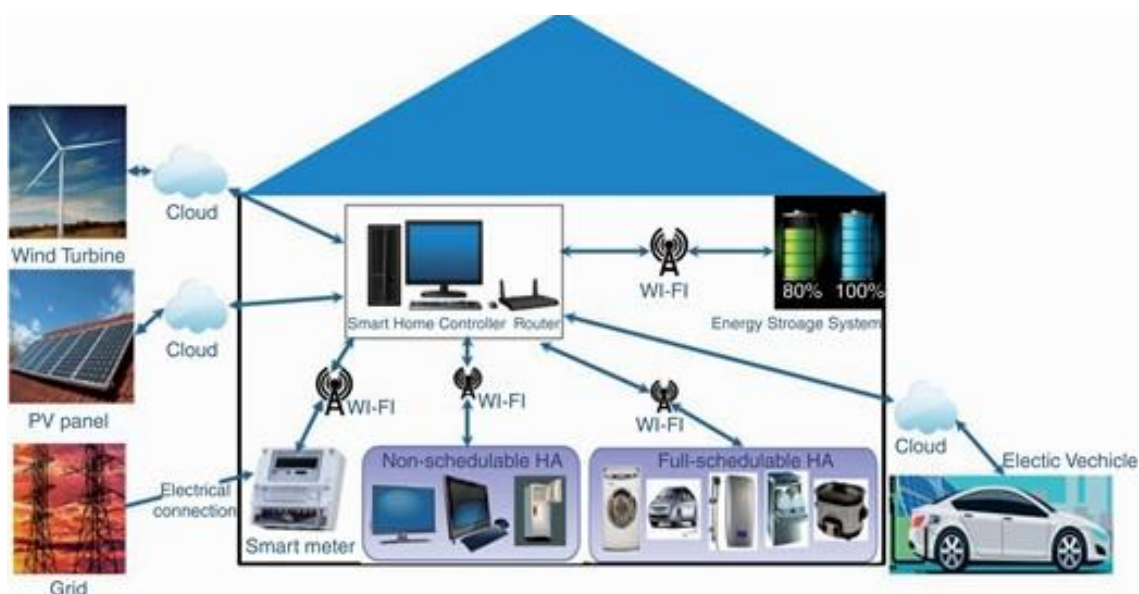
Jedna od glavnih komponenti pametnih gradova je pametna kuća jer je ona centralna tačka za život stanovnika grada. Pametne kuće uključuju upotrebu senzorskih jedinica instaliranih u cijelom prostoru doma osobe koji daju informacije o domu kao i njegovim stanarima. Ove senzori mogu uključivati monitore aktivnosti korisnika kao što su senzori ambijenta, tragači pokreta i potrošnja energije/energije. Pametne kuće pružaju udobne, potpuno kontrolirane i sigurne načine života njihovim stanarima. Štaviše, pametne kuće može uštedjeti energiju i novac uz mogućnost profita od prodaje čiste obnovljive energije mreži. S druge strane, vjerovatno smanjenje ukupne domaće energije opterećenja potiče mnoge vlade da podrže obećavajuće tehnologije pametnih kuća. Neke zemlje su već objavile mnoga pravila, zakone i programe subvencija podsticaja integracije pametnih domova, kao npr poticanje optimizacije sistema grijanja, podrška zgradama za skladištenje energije i/ili implementaciju pametnog metra. Na primjer, evropski standard EN 15232 i Direktiva o energetske performansama zgrada 2010/31/ EU, što je u skladu sa Direktivom 2009/72/EC kao i Energetskom mapom puta 2050, podstiču integraciju tehnologija pametnih kuća za smanjenje potražnje za električnom energijom stambenih područja. Za kontrolu okoline, pametna kuća je automatizirana kontroliranjem nekih uređaja, poput onih koji se koriste za rasvjetu i grijanje, u zavisnosti od različitih klimatskih uslova. Sada, novije upravljačke sheme prilagođavaju mnoge funkcije pored klasičnih komutacionih. Oni mogu nadgledati unutrašnje okruženje i aktivnosti stanara. Oni također mogu samostalno uzeti unaprijed programirani radnje i upravljanje uređajima u zadanim predefinisanim obrascima, samostalno ili prema zahtjevima korisnika.

### **3.7. Pametna industrija**

Industrije širom svijeta su zauzete kontinuiranom težnjom da budu efikasnije i da povećaju produktivnost uz smanjenje troškova. Paradigma industrije 4.0 podrazumijeva viziju povezane fabrike u kojoj su sve njene posredničke funkcije neprimjetno integrisane, radeći u tandemu jedna s drugom. Ovo je omogućeno zbog interneta stvar. Upotreba IoT-a u proizvodnim i produkcijskim procesima, cyber fizički sistemi koji integrišu radnike i mašine

doveli su do nekoliko prednosti u industriji kao što su brže i bolje inovacije, optimizacija proizvodnih shema (resursi i procesi), bolji kvalitet proizvoda i povećana sigurnost za radnike fabrike. Međutim, pametne industrije imaju nekoliko izazova za korištenje IoT-a, rad sa skupom heterogenih uređaja i mašina ima svoje izazove i zahtjeva da cyber fizički sistemi imaju fleksibilnost u konfiguraciji, povezivanju i brzom implementaciji za upotrebu u IoT aplikacijama za pametnu industriju (Tao, Cheng, Qi, 2018). Umjetna inteligencija je krenula ruku pod ruku zajedno sa IoT-om kako bi se potaknuo razvoj i implementacija usluga industrije 4.0. Sa sensorima koji su ugrađeni u mašine i druge procese u fabrici, podaci iz ovih izvora pružaju priliku za korištenje AI tehnika za povećanje automatizacije, izvođenja operacija poslovne inteligencije i još mnogo toga.

Slika 8. Shema pametne kuće za upravljanje energijom



Izvor: Rasha El-Azab,(2021). *Smart homes: potentials and challenges. Clean Energy, Volume 5, Issue 2, P 302–315.*

Zapravo, istraživači su predložili okvire za integraciju AI u IoT za pametnu industriju. Glavne primjene AI u industrije su prediktivno održavanje, praćenje/detekcija kvarova (zdravlje mašine) i upravljanje proizvodnjom.

### 3.8. Pametna infrastruktura

Infrastruktura grada je najvažnija za kvalitet gradskog života, gradske vlasti moraju izgraditi nove mostove, puteve i zgrade za korištenje od strane svojih stanovnika i također obavljati održavanje za nesmetanu upotrebu. Pametna infrastruktura pomaže gradovima da osiguraju da je njihova infrastruktura u dobrom stanju i upotrebljiva, korištenjem senzora za mjerenje strukturnog stanja zgrade/mosta, za praćenje stanja strukture pomoću akcelerometara i pametnih materijala. Podaci prikupljeni preko ovih senzora omogućavaju predviđanje održavanja ovih jedinica za održavanje normalnog funkcionisanja grada.

### 3.9. Pametni transport

Mnogi urbani centri pate od saobraćajnih problema, uključujući gužve, zagađenje, pitanje rasporeda i smanjenja troškova javnog prevoza. Brz razvoj i implementacija novih informacijskih i komunikacijskih tehnologija, vozila-infrastruktura-pješak komunikacija je postala uobičajena. Bilo da se radi vozilo - vozilo (V2V), vozila - infrastruktura (V2I), vozilo - pješak (V2P) ili pješak - infrastruktura (P2I), takve tehnologije su omogućile dizajn pametnih transportnih sistema mogućim. Sa automobilima koji imaju GPS uređaj i uz pretpostavku da skoro svaki vozač ima i mobilni telefon, mnogi pristupi koriste GPS podatke za praćenje ponašanja vozača i obrazaca saobraćaja. Ovi podaci u realnom vremenu se već koriste za mapiranje ruta u aplikacijama kao što su *Waze* i *Google Maps* i koristi se za zakazivanje putovanja u javnom prijevozu. Opremljeni parking sistemi sa sensorima također mogu voditi vozače do najbližeg slobodnog parking mesta.

### 3.10. Zdravlje zgrada

Za pravilno održavanje historijskih zgrada jednog grada trebamo: (1) kontinuirano pratiti stvarno stanja svake zgrade i (2) da se identifikuju područja koja su najviše pogođena zbog različitih vanjskih uticaja. Grad sadrži više objekata, koje imaju različite veličine i različitu starost. Za procjenu stanja zgrade, pasivni WSN-ovi mogu biti ugrađeni u betonske konstrukcije, te periodično šalju radio signal odgovarajućih amplitudnih i faznih karakteristika za informiranje o stanju strukture.

### 3.11. Monitoring životne sredine

WSN-ovi obrađuju, analiziraju i šire informacije prikupljene iz više okruženja. Različiti parametri mjereni sensorima (Lazarescu, 2013) su:

- Nivo vode za jezera, potoke, kanalizaciju.
- Koncentracija gasa u vazduhu za gradove.
- Vlažnost tla i druge karakteristike.
- Nagib za statične konstrukcije (npr. mostove, brane).
- Promjene položaja (npr. za klizišta).
- Uslovi osvjetljenja
- Infracrveno zračenje za detekciju toplote (požar) ili životinja.

### 3.12. Upravljanje otpadom

Upravljanje otpadom postaje sve veći problem urbanog života. Vežano je za mnoge aspekte uključujući socioekonomske i ekološke. Jedna važna karakteristika upravljanja otpadom je ekološka održivost. Glavna prednost globalnih IoT infrastruktura je to što nam pružaju sa mogućnošću prikupljanja podataka i dalje pomoći u poboljšanju efikasnosti menadžment za



razna pitanja. Danas, kamion za smeće treba pokupiti sve kante za smeće čak i kada su prazne. Korištenjem IoT uređaja unutar kante za smeće, ovi uređaji će biti povezan sa računarskim serverom pomoću jedne od LPWAN tehnologija. Računalni server može prikupljati informacije i optimizirati put do odvoza smeća koji obavljaju kamioni za odvoz smeća.

### **3.13. Pametno parkiranje**

U ovom use case-u, bežični senzor (ili povezani objekt) se nalazi na svakom parking mjestu. Ako se vozilo parkira ili ako parkirano vozilo napusti parking mjesto, senzor na parking mjestu šalje obavijest serveru za upravljanje. Prikupljanjem informacija u vezi popunjenosti parking mjesta, server može obezbijediti informacije o slobodnim parkirnim mjestima vozačima putem platformi za vizualizaciju kao što su pametni telefoni, vozila sa čovjek-mašina interfejsom (HMI) ili oglasne ploče. Ove informacije će također omogućiti gradskom vijeću da primjenjuje novčane kazne u slučaju prekršaja parkiranja. Tehnologija radiofrekventne identifikacije (RFID) je automatizovana i može biti veoma korisna za sisteme identifikacije vozila. Vozila su identificirana i naknade za parkiranje se naplaćuju automatski putem toga sistem. Što se tiče hardverskih zahtjeva, uz pomoć RFID-a čitača i barijere se mogu postići kontrole prijave i odjave sa parkinga. Na taj način, za razliku od ljudski kontrolisanog tradicionalnog rada na parkingu, automatizovana kontrola vozila i identifikacioni sistem se može razviti kako je opisano u jednom od mnogobrojnih članaka (Pala, Inanc, 2007). Razvoj mreža Ad Hoc vozila (VANET) zajedno s napretkom i širokom primjenom bežične komunikacijske tehnologije, mnoge velike fabrike automobila i telekomunikacijska industrija sve više ugrađuju u svoje automobile onboard jedinice (OBU) komunikacijske uređaje. Ovo omogućava različitim automobilima da komuniciraju međusobno kao i sa infrastrukturom pored puta.

### **3.14. Navigacijski sistem za vozače gradskog autobusa**

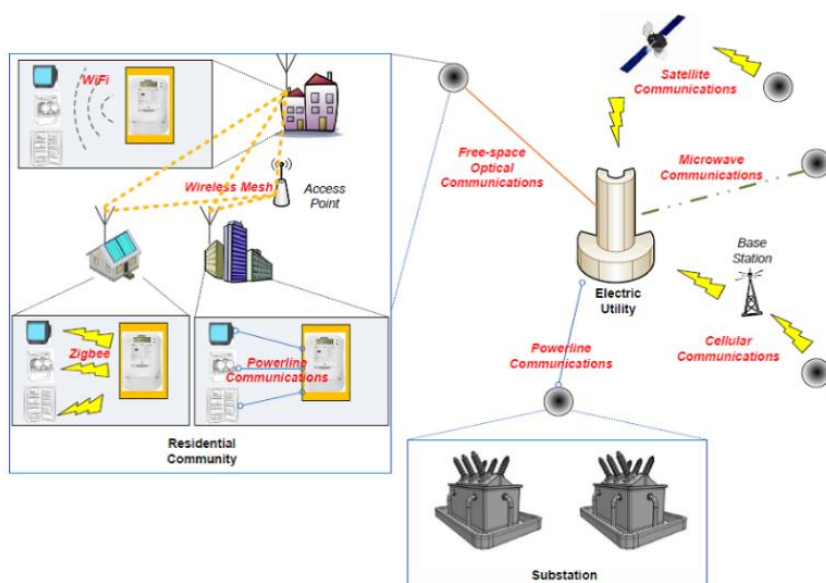
UBN (*Urban Bus Network* – Mreža gradskih autobusa) je bazirana na IoT arhitekturi koja koristi skup distribuiranih softverskih i hardverskih komponenti koje su čvrsto integrisane sa autobusnim sistemom. UBN sistem koji je uspostavljen u Madridu, Španiji, je sastavljen od tri ključne komponente: 1) mrežno povezan sistem gradskih autobusa sa autobusima opremljenim WiFi mrežom, 2) UBN navigacijska aplikacija za vozače autobusa, i 3) server informacija o gužvi u autobusu koji prikuplja informacije o popunjenosti autobusa u realnom vremenu na različitim rutama unutar Madrida (Handte *et al.*, 2016).

### **3.15. Pametna rešetka**

Pametna rešetka koristi nove tehnologije kao što su kao inteligentni i autonomni kontroleri, napredni softver za upravljanje podacima i dvosmjernu komunikaciju između energetskog

preduzeća i potrošača, za stvaranje automatizovane i distribuirane napredne mreže za isporuku energije (slika 9).

Slika 9. Arhitektura pametne rešetke



Izvor: Xi Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue, Dejun Yang, (2012). *Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE communications surveys & tutorials.*

Razvijena kao infrastruktura za otkrivanje i prenošenje informacija kroz pametnu rešetku, IoT tehnologija, kada se primjenjuje na elektroenergetsku mrežu će igrati značajnu ulogu u isplativoj proizvodnji električne energije, distribuciji, prijenosu i potrošnji.

## 4. IOT KAO TEHNOLOGIJA KOJA OMOGUĆAVA SMART CITY

IoT koncept koristi nekoliko sveprisutnih servisa za omogućavanje Smart City implementacije širom svijeta. IoT predstavlja nove mogućnosti, kao što je mogućnost daljinskog praćenja i upravljanja uređajima, analiziranje i poduzimanje radnje na osnovu primljenih informacija iz različitih tokova saobraćajnih podataka u realnom vremenu. Kao rezultat toga, IoT proizvodi mijenjaju gradove poboljšavajući infrastrukturu, stvarajući više efikasne i isplative općinske usluge, poboljšanje transportnih usluga smanjenjem saobraćajnih gužvi i poboljšanjem sigurnost građana. Za postizanje punog potencijala IoT-a, arhitekti pametnih gradova i pružaoci usluga prepoznaju da gradovi ne smiju nuditi odvojene funkcije pametnog grada, već isporučuju skalabilna i sigurna IoT rješenja koji uključuju efikasne IoT sisteme.

### 4.1. IoT za Smart Cities: zahtjevi i stvarni primjeri

Efikasno rješenje pametnog grada trebalo bi dizajnirati i uključiti IoT platforme koje ispunjavaju zahtjeve današnjeg IoT-a i omogućavaju upravljanje milionima povezanih uređaja, sistema i ljudi. Konkretno, IoT platforma bi trebala:

- Smanjiti troškove i rizik potrebne za stvaranje i razvoj IoT-a usluge.
- Povezati više heterogenih sistema u gradu.
- Smanjiti vrijeme potrebno za implementaciju i razvoj IoT usluga koji su dio inicijativa pametnih gradova.
- Omogućiti siguran i skalabilan pristup uslugama i otvoriti nove mogućnosti za grad.
- Stvoriti vrijednosti (npr. bolje usluge) iz pametnih povezanih podataka i uređaja.

Poznate kineske firme kao što su Alibaba, Baidu, Huawei, Lenovo i Xiaomi ulažu velike investicije u IoT sektor. Štoviše, grad Zhongnaichun, koji se također naziva i „Kineska silikonska dolina“, koji se nalazi na sjeveroistoku Pekinga, je privukao IoT poduzetnike iz cijelog svijeta. Bijela kuća je 2015. pokrenula inicijativu Smart City koja ima za cilj da olakša tehnološku saradnju između gradova, saveznih agencija, univerziteta i privatnog sektora. U SAD-u, Kansas City je potpisao ugovor sa Sprintom i Cisco za stvaranje najvećeg pametnog grad u Sjevernoj Americi sa namjerom poboljšanje gradskih usluga. Kroz mrežu senzora širokog područja i Wi-Fi, projekat (vrijedan preko 15 miliona dolara) će pružiti drugačije vrste informacija građanima prikupljanjem podataka o njihovom ponašanju u gradu. Fujisawa Sustainable Smart Town (FSST), pametni grad unutar grada Fujisawe koji se nalazi na jugu Tokija, je u izgradnji od strane Panasonic od 2014 godine i prema izvještaju iz 2020 godine, broji populaciju veću od 2000 stanovnika. U Fujisawi, ulično svjetlo svijetli samo kada senzori otkriju prisustvo pojedinca. Recikliranje je također bitan faktor. Songdo International Business District u Južnoj Koreji kojeg je izgradio Gale, moćna američki grupacija za nekretnine ima trenutnu populaciju veću od 160.000 stanovnika i prostire se na 600 hektara površine. U Songdou, kišnica se sakuplja, filtrira i koristi za navodnjavanje parkova. UAE također gledaju u budućnost nakon post-naftne ere što je dovelo do investicije vrijedne 18 milijardi dolara za izgradnju Masdara, grada u pustinji sa potpuno (100%) obnovljivom energijom. U Masdaru, na primjer, otpadne vode se koriste za navodnjavanje zelene površine. Malmo („City of Tomorrow" projekt) u Švedskoj ima za cilj napraviti Malme do 2030. godine karbonsko neutralnim gradom. Projekat također ima za cilj da se grad u potpunosti koristiti obnovljivim izvorima energije do 2030. godine. Zvaničnici Malmea predviđaju da će ovaj gradski projekat moći da primi 10.000 ljudi i očekuju dodatnih 20.000 koji će tamo raditi ili studirati.

U Francuskoj je Ministarstvo saobraćaja pokrenulo (2016. godine) projekat pod nazivom scoop@F za razvoj infrastrukture za pametna vozila. U ovom projektu će biti testirano 3.000 inteligentnih vozila na 6 lokacija uključujući Ile-de-France, na obilaznici Bordeauxa i Isère predgrađa. Budžet scoop@F-a procjenjuje se na 20 miliona eura finansiranih između države, zajednica, industrije i EU. U ovom projektu prilagođena su vozila koja voze pojedinci i profesionalci, ista će biti povezana na pametnu rutu i međusobno povezana putem WiFi, 4G ili 5G tehnologija kako bi dijelili informacije među njima o saobraćaju, nesreći, prisustvu krhotina ili životinja na putu. Povezan automobil je stoga rješenje koje poboljšava uslove vožnje prikupljanjem i širenjem saobraćajnih informacija u realnom vremenu i stanje saobraćaja među vozilima koje će poboljšati sigurnost saobraćaja (Yeferny, Hamad, 2020). Ukratko, pametni gradovi su povezani gradovi koji koriste telekomunikacijske tehnologije i

informacione sisteme za poboljšanje života građana. Pametan grad se može učiniti pametnim postizanje dva glavna cilja:

- Pružanje napredne urbane infrastrukture sa mogućnošću prikupljanja i obrade podataka koristeći nove tehnologije kao što je smart mreža, pametna brojila, pametne zgrade, povezani objekti i veliki podaci kako bi se predvidjele sve anomalije.
- Omogućavanje korisnicima interakciju s okolinom putem pametnih aplikacija u cilju smanjenja emisije CO<sub>2</sub>. Smanjeno zagađenje će poboljšati životnu sredinu i na kraju kvalitet život (npr. poboljšano zdravlje, sigurnije, brže, jeftinije putovanje) građana.

U nastavku ću prikazati detaljan pregled različitih osnovnih jedinica i tehnologija koje se koriste u implementaciji pametnih gradova i diskutovati o trenutnom stanju njihove upotrebe/razmjene. Glavni aspekti o kojim ćemo diskutovati u ovom poglavlju su sljedeći:

1. Struktura IoT u kontekstu pametnog grada, razmatrajući razne aplikacije, komponente i arhitekture.
2. *Cloud, Fog i Edge* tehnologije računanja
3. Sveobuhvatni pregled senzorskih tehnologija koje se koriste na različitim nivoima IoT arhitekture.
4. Mrežne topologije, arhitekture i pregled mrežnih protokola koji se koriste u okviru IoT rješenja za pametne gradove.
5. Uvid u trenutno stanje upotrebe IoT-a i razmatranje različitih načina u kojoj je AI primijenjen u IoT-u za pametne gradove koristeći aplikacije grupisanja, regresije, klasifikacije itd.

Pametni gradovi nude nekoliko prednosti (u smislu vrijednosti) u poređenju sa tradicionalnim gradskim ekosistemom:

1. *Postizanje klimatskih ciljeva*: Pametni gradovi su na čelu pionirskih tehnologija pomoći zemljama u ispunjavanju klimatskih ciljeva. Pametan grad se fokusira na pametno upravljanje energijom, pametnih transportnih sistema i gradskim upravama koje ima za cilj smanjenje ugljičnog otiska gradova i omogućavanje razvoja i korištenja novih tehnologija za čistiji život.
2. *Vrijednost novca*: Projekti pametnog grada činit će tržište od 1 milijarde američkih dolara do 2025 (Anthopoulos, Reddick, 2016). To pruža ogroman novčani podsticaj ne samo za vlade već i za privatne kompanije da aktivno doprinose razvoju tehnologija koje podržavaju razvoj pametnog grada.
3. *Uticao na društvo*: Središnji dio projekta pametnog grada je poboljšanje kvaliteta život stanovnika grada i pomoći u razvoju inkluzivnog društva u kojem je svako mišljenje uvaženo i pružene su jednake mogućnosti. Informativne i komunikativne tehnologije u kontekstu pametnog grada temeljna su komponenta pružanja usluga javnih servisa, olakšavanjem interakcije građana sa gradskim okruženjem i olakšavajući svakodnevni život.

## 4.2. Internet stvari za pametne gradove

U srcu inicijative za pametne gradove je internet stvari (IoT), to je tehnologija koja je omogućila prodornu digitalizaciju koja je dovela do rasta koncepta pametnih gradova. Internet stvari se odnosi na sveprisutno povezivanje uređaja na internet, što im omogućava da šalju informacije u oblak i potencijalno dobijaju upute za izvođenje radnji. IoT uključuje prikupljanje podataka i izvođenje operacije analize podataka za izvlačenje informacija u cilju podrške odlučivanju i donošenju politike. Procjenjuje se da će do 2025. godine više od 75 milijardi uređaja biti povezano na internet (Lele, 2019), te slijedi još veći razvoj aplikacija. U kontekstu pametnog grada, IoT omogućava sensorima da prikupljaju i šalju podatke o stanju grada u centralni oblak, zatim se tip podaci izvlače ili obrađuju za potrebe izdvajanja uzoraka i donošenja odluka.

## 4.3. Iot arhitekture za pametne gradove

Internet stvari objedinjuje operacije otkrivanja podataka, prijenosa/prijema, obrade i pohrane putem korištenja *cloud* servisa. Na osnovu tehnologije, generička IoT arhitektura se sastoji od pet slojeva gdje uzastopni slojevi rade sa informacijama koje dolaze sa prethodnog sloja kao što je prikazano na slici 10. Takođe, na slici 10 su prikazane tri različite arhitekture koje egzistiraju u IoT sistemima.

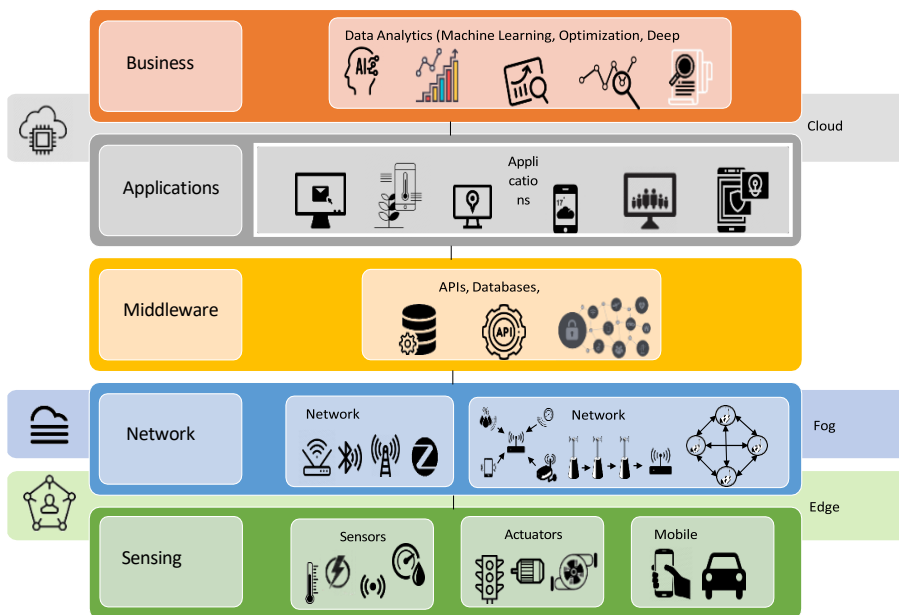
Senzorski sloj, koji se naziva i sloj percepcije, sastoji se od senzora koji mogu dobiti informacije o fizičkim entitetima od interesa u bilo kojoj primjeni, kao i aktuatorima koji mogu djelovati na fizičke objekte, kao što su RFID čitači za čitanje RFID oznaka i drugi takvi uređaji. Podaci pročitani od strane senzorskog sloja se prosljeđuju dalje do *Middleware* sloja koristeći mrežni sloj putem bežičnih mrežnih tehnologija kao što su Wi-Fi, celularni internet, Zigbee, Bluetooth itd. *Middleware* sloj pruža generički interfejs za hardver senzitivnog sloja i sloj aplikacije koji koristi podatke kroz razne API-je i usluge upravljanja bazom podataka za pružanje usluga korisnicima.

Biznis sloj je vezan za sloj aplikacije i koristi se za razvoj strategija i formulisanje politika koje pomažu u upravljanju kompletnim sistemom. Što se tiče arhitekture, obično se IoT arhitekture kategoriziraju na osnovu tipa operativnih odgovornosti dodijeljenih dijelovima IoT sistema, ova kategorizacija je zasnovana uglavnom na odgovornosti u obradi podataka. Postoje tri arhitekture IoT sistema s obzirom na fazu IoT okvira u kojoj se može izvršiti obrada podataka a to su modeli oblaka, magle i ruba. Važno je napomenuti da tri IoT arhitekture o kojima se ovdje govori se međusobno ne isključuju, već je cilj ove hijerarhije da dopuni više slojeve pružajući im samo korisne informacije koje čine sistem produktivnijim i pouzdanijim. Za svakog dizajnera IoT sistema, cilj je uspostaviti ravnotežu između mogućnosti tri sloja imajući u vidu sistemske troškove i zahtjeve. Ovo je prva predložena arhitektura za IoT sisteme i zasnovana je na premisi da se obrada podataka iz različitih komponenti u IoT sistemu treba odvijati u oblaku. *Cloud computing* omogućava daljinski pristup neometanim zajedničkim resursima (računanje, skladištenje i servisi) preko mreže.

U stanju je dinamički dodijeliti ove resurse bez ljudske intervencije, rasporediti ili udružiti po potrebi i biti u mogućnosti da im se pristupi preko mnogo različitih platformi.

Oblak može pružiti kako hardverske tako i softverske usluge za aplikacije pametnih gradova. Prednost je što pruža centralnu upravljačku platformu sa koje se mogu posmatrati i kontrolirati IoT sistemi kao i da na osnovu primljenih podataka distribuiraju komandne akcije. Štaviše, ova centralizacija takođe omogućava sistemima u oblaku da imaju dovoljno velike računarske i kapacitete za skladištenje, čime im se omogućava da obavljaju složene zadatke rudarenja podataka, izdvajanja uzoraka i donošenje zaključaka iz podataka senzora u pametnim gradovima kako bi se oni iskoristili na najbolji mogući način. Ipak, korištenje oblaka kao računarski model za IoT ima i nekoliko nedostataka. Prvo, prijenos svih prikupljenih podataka u oblaku povećava mrežni promet, iako to možda nije tačno za aplikacije u kojima se mjerenja ne vrše tako često, ali u drugim slučajevima to može povećati troškove mreže. Štaviše, signalni podaci prijenosa se mogu povećati zbog velike količine podataka koja je potrebna za prijenos podataka sa mnogih senzora koji postoje u scenariju pametnog grada.

Slika 10. IoT arhitektura



Izvor: Keyur K Patel, Sunil M Patel, (2016). *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges.*

Još jedan nedostatak od čega pati model računarstva u oblaku je kašnjenje podataka, budući da senzorske jedinice postoje u senzornom sloju a donošenje odluka/obrada podataka odvija se u oblaku, ovo dovodi do kašnjenja podataka u prijenosu senzorskih informacija, posebno kada mnogo uređaja počinje slati podatke u isto vrijeme. Pouzdanost mreže može biti problem prilikom korištenja ovog modela, sa velikim obimom prometa podataka na mreži, postoji bojazan da neće biti moguće provoditi robusne šeme prijenosa podataka kako IoT sistemi postaju sve veći.

#### 4.4. *Fog Computing* model – model računanja u magli

Budući da se većina informacija proizvedenih u IoT-u odvija prema senzorskom dijelu IoT sistema, koji se naziva i rubom, *Fog Computing* (Numhauser, 2013) je predložen u cilju prevazilažnja nekih od problema modela računarstva u oblaku za IoT. *Fog Computing* pruža raznovrsniju distribuciju odgovornosti od one koju diktira *Cloud Computing* arhitektura premještanjem dijela obrade na uređaje na lokalnoj mreži. Obično se *Fog Computing* odnosi na obradu podataka koju provode ruteri i drugi mrežni uređaji unutar mrežnog sloja u IoT-u. Budući da mrežni uređaji današnjice sve više nude bolje računarske mogućnosti, može ih se iskoristiti za izvođenje rudimentarne operacije nad podacima. Operacije kao što su agregacija i prikupljanje senzorskih podataka, jednostavne operacije obrade i donošenja odluka mogu se izvršiti kako bi se smanjila količina informacija koja teče prema višem sloju oblaka.

Na osnovu prethodnih podataka za dati period, otvara se mogućnost odlučivanja višim slojevima, a ne samo da se dostavljaju podaci, čime se pružaju kvalitetnije informacije sloju oblaka, što rezultira boljim iskorištenjem oblaka kao resursa. Slojevi magle mogu lokalizirati donošenje odluka budući da imaju pristup lokalnom stanju datog regiona. Ovo bi bilo od pomoći u implementaciji mehanizma distribuiranog odlučivanja koji bi mogli biti neophodni u nekim aplikacijama. Štaviše, oni takođe dozvoljavaju uspostavu lokalnih mreža korištenjem neinternetskih tehnologija kao što su Zigbee, Bluetooth, RFID itd., gdje senzori i drugi krajnji uređaji prenose podatke do čvora magle (također se vode i kao pristupne tačke u takvim sistemima) koji je povezan sa oblakom.

*Fog computing* rezultira smanjenjem troškova za implementaciju IoT sistema, povećava robusnost kako se latencija smanjuje, opterećenje podataka i greške u prijenosu se smanjuju. To također poboljšava efikasnost aplikacija jer se sa primljenim podacima mogu brže donositi odluke, što je važno u kritičnim situacijama donošenja odluka. Štaviše, *Fog* uređaji imaju tu mogućnost ne samo da primaju podatke sa sličnih uređaja na rubu, već ih i prikupljaju sa mnogo različitih vrsta uređaja. Ova mogućnost mjerenja različitih parametara u okruženju ruba mreže omogućava razvoj aplikativno neutralne arhitekture IoT sistema.

#### 4.5. Edge Computing Model

Svrha *Fog Computinga* je bila da „odgurne“ dio donošenja odluka ka rubu mreže. Posljednjih godina, sa sve sposobnijim uređajima koji se razvijaju a koji su vezani za „rubne“ čvorove, jednostavno donošenje odluka i obrada podataka sve više prelazi na ove uređaje kako bi se smanjili troškove mreže i uređaja na nivou magle te se pomjerali u još dublje distribuirane šeme odlučivanja.

*Edge computing* se odnosi na obradu podataka koja se obavlja na nivou "stvari", tj. pomoću senzora i drugi uređaji u IoT sistemu. Još jedan koncept o *Edge* računarstvu koji je razmatran u (Yousefpour *et al.*, 2019) definira Edge računski sloj kao posredni sloj između „magle“ i

„stvari“ (senzora) umjesto rubnih čvorova. Razlika između njih u ovom slučaju *Edge* računarski čvorovi djeluju kao jedinice za agregaciju i donošenje odluka manjeg obima u poređenju sa uređajima za maglu koji obezbeđuju besprijekornu povezanost i integritet podataka u cijeloj IoT mreži. Cilj računarstva „magle“ i „ruba“ paradigma je decentralizacije IoT sistema u svrhu smanjenja troškova, povećanja skalabilnost i povećanja robusnosti.

#### 4.6. Senzorske tehnologije

Senzori i osluškivanje je u srcu tehnologija pametnih gradova. Senzori pružaju znanje i podatke iz kojih se stvaraju inovacije pametnog grada. Sa znatno drugačijom prirodom od *Smart Cityja* projekata i njegovih različitih komponenti, brojni su senzori koji su korišteni kao dio ovih inicijativa. Autori (Morais *et al.*, 2019) su dali okvir za poređenje IoT senzora i naveli senzore koje su pronašli u upotrebi za Internet stvari. Koristit ću se njihovim radom da usmjerim svoje istraživanje senzornih tehnologija koje se koriste u pametnim gradovima. Senzori unutar IoT-a mogu se podijeliti u nekoliko grupa, a to su ambijentalni, pokretni, električni, biosenzori, identifikacija, prisutnost, hidraulički i hemijski senzori kao što je prikazano na slici 11. Rad sa različitim sensorima koji mogu imati različite tipove izlaznih podataka je zadatak s kojim se treba pozabaviti kada se radi sa više tipova senzora.

##### 4.6.1. Ambijentalni senzori

Ambijentalni senzori uključuju senzore koji se koriste za mjerenje fizičkih veličina koje ukazuju na uslove okoline kao što su temperatura, vlažnost, intenzitet svetlosti i pritisak. Ambijentalni senzori se koriste u raznim aplikacijama pametnih gradova uključujući pametne kuće gdje se koriste za regulaciju nivoa udobnosti, koriste se i za usluge pametnog grada.

##### 4.6.2. Bio senzori

Biosenzori se koriste za mjerenje zdravstvenih parametara živih bića. Biosenzori se u pametnim gradovima koriste za praćenje pacijenata u zdravstvene svrhe. Takvi senzori uključuju Elektroencefalogram (EEG), elektromiogram (EMG), elektrokardiogram (EKG), otpor kože, otkucaji srca, senzori daha, pulsna oksimetrija, krvni pritisak i još mnogo toga.

##### 4.6.3. Hemijski

Hemijski senzori se koriste za mjerenje hemijskih svojstava materijala, uključujući plinske senzore koji mogu mjeriti/detektovati ugljični monoksid (CO), ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) i ostale gasove za praćenje kvaliteta vazduha, senzori za detekciju dima, pH i drugi senzori za praćenje kvaliteta vode itd.



#### 4.6.4. Električni senzori

Električni senzori omogućavaju mjerenje električne snage i široko se koriste u pametnim mrežama i pametnim kućama za praćenje potrošnje energije potrošača/uređaja. Tipovi uključuju strujne transformatore i naponske senzore za mjerenje struje i napona, respektivno.

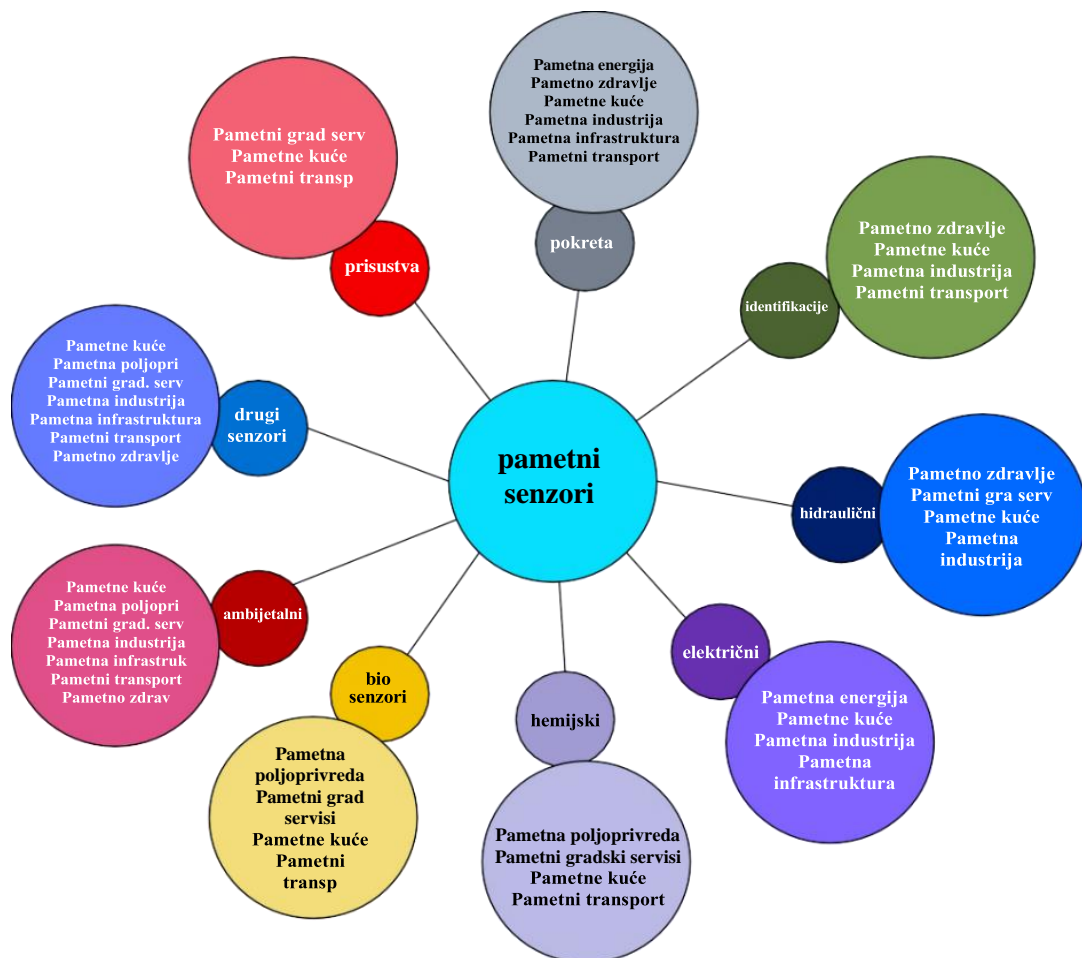
#### 4.6.5. Hidraulični

Hidraulički senzori se odnose na senzore koji se koriste za mjerenja tekućine kao što su nivo, protok, detekcija curenja. Koriste se za mjerenje nivoa tekućine u spremnicima.

#### 4.6.6. Identifikacija

Senzori za identifikaciju odnose se na RFID oznake i uređaje za komunikaciju bliskog polja (NFC). Ovi senzori se koriste u aplikacijama koje uključuju plaćanja, razmjenu podataka u domenu pametnog prevoza i usluga pametnog grada.

Slika 11. Senzorske tehnologije za IoT pametne gradove



Izvor: Abbas Shah Syed, Daniel Sierra-Sosa, Anup Kumar, Adel Elmaghraby, (2021). IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges.

#### 4.6.7. Senzori pokreta

Senzori pokreta se odnose na senzore koji se mogu koristiti za detekciju pokreta. Senzori za detekciju pokreta uključuju inercijalne senzore kao što su akcelerometri i žiroskopi. Ove senzori se koriste u pametnim zdravstvenim aplikacijama kao što je praćenje aktivnosti, kao i aplikacije poput senzora vibracija u pametnim kućama i industriji.

#### 4.6.8. Prisutnost

Senzori prisutnosti ukazuju na prisutnost ljudi ili predmeta. Pasivni infracrveni (PIR) senzori su veoma popularni i koriste se za detekciju ljudskih pokreta, mogu se koristiti i kao prekidači na prozorima i vratima u sigurnosne svrhe, senzori induktivne petlje koji koriste elektromagnetnu indukciju se mogu koristiti za otkrivanje prisustva u transportnim sistemima. Ultrasonic senzori se također koriste za određivanje udaljenosti objekata. Kapacitivni senzori su također uključeni u ovaj tip, oni se mogu koristiti za određivanje položaja.

#### 4.6.9. Ostali senzori

Različite aplikacije pametnih gradova koriste različite modalitete senzora kao što je zvuk ili vizuelne informacije ili druge uređaje za mjerenje signala, na primjer, bluetooth i Wi-Fi jačina signala. Budući da senzori za ove modalitete hvataju sirove informacije o signalu (vizuelni, zvučni ili jačina signala itd.), prikupljeni podaci se obično obrađuju dalje prije nego što ukaže na ciljnu varijablu koja se mjeri.

### **4.7. Tehnologije umrežavanja**

Internet stvari u pametnim gradovima ovisi o agregaciji podataka mjerenih pomoću pojedinačnih senzorskih jedinica postavljenih širom okruženja pametnog grada. Sistemi koji mogu koristiti ova mjerenja pojedinačno već dugo postoje i omogućavaju automatizaciju za male projekte. Međutim, „pametno“ u pametnom gradu proizlazi iz kolektivne upotrebe podataka od ovih pojedinačnih senzorskih jedinica za donošenje složenih odluka tokom pružanja usluga građanima. Zajednička upotreba ovih podataka omogućava njihovu analizu u širem opsegu u poređenju sa pojedinačnim nivoima kako bi se odredili dugoročni obrasci i pružili smisleni uvidi uslugama podrške. Broj takvih IoT uređaja trenutno prisutnih u svijetu je višestruko veći od svjetske populacije. Da bi se ovim uređajima omogućilo da razmjenjuju podatke, bežične tehnologije moraju se koristiti jer bi fizičke veze, na primjer, bile preskupe (gdje god se mogu koristiti), drugo, ne bi zadovoljile zahtjeve mobilnosti koje su tipične za mnoge aplikacije za pametne gradove. Internet je omogućio povezivanje kompjutera, pametnih telefona i drugih elektronskih uređaja širom svijeta međusobno, omogućavajući trenutni prijenos informacija između njih. Međutim za IoT, internet ne mora nužno biti jedina metoda komunikacije kao što to nije slučaj sa mnogim aplikacijama koje

posjeduju rubne uređaje koji se mogu povezati na internet. Aplikacija se može sastojati od lokalne mreže senzorskih jedinica koje mogu razmjenjivati podatke između sebe i oslanjati se na komunikacioni protokol višestrukog skoka za slanje podataka u centralni čvor, čvorište ili gateway. Gateway bi mogao biti fiksiran i povezan na internet, čime bi se prenosili svi praćeni podaci na oblak za dalju obradu ili upotrebu. U ovom dijelu raspravljam o tipovima mreža, topologijama i protokola koji se koriste u IoT aplikacijama pametnog grada kao što je prikazano na slici 12. Kasnije ću dati poređenje ovih protokola u tabeli 3.

#### 4.8. Mrežne topologije

Postoje tri IoT mrežne topologije, od tačke do tačke, zvijezda i mesh (Yaqoob *et al.*, 2017). Prvi tip topologije je topologija od tačke do tačke u kojoj su uređaji međusobno povezani sekvencijalno na način od tačke do tačke. *Point-to-point* mreže uvode skokove podataka za pakete koji se moraju poslati drugim čvorovima jer podaci moraju proći kroz svaki čvor na putu između dva čvora koji žele razmjenjivati podatke. *Point-to-point* mreže nisu baš popularne u IoT sistemima jer su nisko rangirane po otpornosti na greške i narušit će se ako postoji greška u bilo kojem od međučvorova. U topologiji zvijezda, sve jedinice u mreži su povezane na centralni čvor ili gateway i ne mogu direktno slati podatke jedni drugima. Da biste izvršili razmjenu podataka među sobom, uređaji ih trebaju poslati preko centralnog čvora.

Mreže topologije zvijezda, sa svojom centralnom čvornom strukturom pružaju prirodnu agregacijsku shemu za prikupljanje podataka unutar interneta stvari, međutim, velike mreže koje se sastoje od mnogo uređaja, što može biti slučaj u većini aplikacija za pametne gradove, mogu rezultirati visokom latencijom i mogućim uskim grlima u scenarijima visokog protoka informacija. *Star* (zvijezda) topologija je korištena u različitim aplikacijama uključujući upravljanje katastrofama i okoline osluškivanja. Posljednja vrsta mrežne topologije koja se koristi u IoT-u je *mesh* mrežna topologija, *mesh* mreže omogućavaju svim pojedinačnim uređajima da komuniciraju između njih. Omogućavanjem komunikacije između čvorova u mreži, *mesh* topologija nudi veći raspon jer podaci koji se prenose prema određenom čvoru mogu napraviti više skokova kroz mrežu, to također povećava otpornost mreže budući da se alternativni putevi mogu koristiti ako dostava paketa ne uspije zbog toga što bilo koji od čvorova postane neispravan.

#### 4.9. Mrežne arhitekture

Mrežna arhitektura se odnosi na strukturu mreže koja se koristi za datu aplikaciju. Kao što sam ranije istaknuo, „stvari“ u IoT-u ne moraju nužno biti povezane na Internet, ustvari, distribuirana struktura povezivanja može se implementirati samo sa jednom jedinicom u mreži koja je sposobna da šalje podatke u oblak u zavisnosti od zahtjeva. Rad (Talari *et al.*, 2017) spominje tri tipa mrežnih arhitektura koje se koriste za pametne gradove zasnovane na IoT-u. To su kućne mreže (HAN - *Home Area Networks*), mreže šireg područja (WAN- *Wide Area Networks*) i terenske/susjedske mreže (FAN/NAN- *Field/Neighborhood Area*

*Networks*). *Home Area Networks* su mreže kratkog dometa i obično se koriste za prijenos informacija do centralnog čvora koji je odgovoran za prikupljanje podataka prije nego što se pošalju u oblak. Komunikacija unutar mreže se obavlja korištenjem nekog komunikacijskog protokola male snage kao što je Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi itd. HAN-ovi su vrlo popularni u pametnim kućama gdje se koriste za prikupljanje podataka o potrošnji energije i vremenu rada iz mnoštva uređaja koji se zatim šalju na pametno brojilo kao dio pametne mreže.

Druga vrsta mrežne arhitekture je *Field Area Networks* (FANs), ponekad se naziva *Neighborhood Area Networks* (NAN) mreža susjedstva. Terenske mreže imaju veći komunikacijski domet od HAN-ova i koriste se za pružanje veze između korisnika (na primjer, u pametnoj mreži) i komunalnog preduzeća. Mreže širokog područja se koriste za mrežne strukture koje zahtijevaju komunikaciju na velikim udaljenostima. Ove mreže nisu tako guste kao HAN ili FAN i koriste tehnologije kao što su mobilne usluge, žičane veze kao što su optička vlakna kao i klasa protokola male snage dizajniranih za same WAN mreže. WAN-ovi se koriste se u raznim aplikacijama za pametne gradove, uključujući pametne mreže gdje se koriste za povezivanje više podstanica zajedno ili razmjenjivanje podataka između korisnika i trafostanica.

#### **4.10. Mrežni protokoli**

Vrsta mreže koja se koristi ovisi o zahtjevima aplikacije. Imperativ je da komunikacijski protokol koji se koristi u aplikaciji pametnog grada zadovoljava željeni kvalitet usluge (QoS). Nekoliko protokola je korišteno u internetu stvari za pametne gradove, stoga ću u nastavku raspraviti o osobinama najpopularnijih protokola bežičnog umrežavanja koji se koriste u pametnim gradovima.

##### **4.10.1. RFID**

Radiofrekvencijska identifikacija (RFID) koristi radio frekvencije za prijenos i prijem podataka. RFID komunikacija se sastoji od dvije vrste uređaja, jedan je uređaj *Reader* dok se drugi zove *Tag*. Čitač (*Reader*) je obično napajan i jednom kada dođe *Tag* (oznaka) u blizinu čitaoca, razmjena informacija se odvija nakon autorizacije kada *Tag* pokupi energiju od *Readera*. Takve oznake se zovu pasivne oznake, postoje također aktivne oznake koje svojom snagom ne ovise o čitaču. U zavisnosti od standard, RFID može raditi na različitim frekvencijama u radiofrekvencijskom spektru između 125 KHz do 928 MHz i može se koristiti na kratkim dometima. Koriste se u aplikacijama kao što su pametni transport (naplata putarine, parking), pametno zdravlje i još mnogo toga.

##### **4.10.2. Near Field Communication**

Komunikacija bliskog polja (NFC) je vrlo slična RFID-u, međutim, po strukturi NFC komunikacija se ne sastoji od oznaka i čitača. Za razliku od RFID, oba uređaja koja žele komunicirati pomoću NFC-a moraju biti uključena i prijenos/prijem podataka se može

odvijati u oba smjera za razliku od RFID-a. Ovo omogućava korištenje NFC-a za kontrolu i konfiguraciju uređaja za razliku od RFID koji se ne mogu koristiti za mjerenje ili kontrolne zadatke. NFC koristi slične frekvencije kao RFID, ali se koristi za vrlo kratke udaljenosti. NFC uređaji su popularni za aplikacije koje uključuju plaćanje putem pametnih telefona i također se koriste u pametnim kućama.

#### 4.10.3. Bluetooth

Bluetooth je niskoenergetski protokol popularan u IoT aplikacijama jer može podržati neograničen broj čvorova. Protokol je dizajniran za kratki domet, komunikaciju niske propusnosti u aranžmanu u kojem uređaji mogu lako izaći ili ući u mrežu. Bluetooth izvorno podržava topologiju zvijezde jer ima glavni uređaj u središtu komunikacionog mehanizma. Radi u ISM opsegu od 2,4 GHz i može imati maksimum brzine prenosa podataka od 2 Mbps. Bluetooth se naširoko koristi u pametnim kućama zbog toga što pruža interfejs za direktno povezivanje sa pametnim telefonima bez potrebe za bilo kakvim posrednikom čvorišta uređaja.

#### 4.10.4. Z-Wave

*Z-Wave* ili *Zensys wave* je protokol male snage razvijen za korištenje kod kućnih aplikacija za automatizaciju. To je protokol male brzine sa kratkim dometom, koji radi na frekvencijama od 868 MHz i 900 MHz. Radi na način „gospodar-rob“ (*master-slave*) principu, gdje gospodar (*master*) može imati više podređenih uređaja koji mogu odgovoriti na komande glavnog čvora, stoga je ovo vrlo pogodno za aplikacije gdje je prisutan centralni kontrolni element koji treba da prikuplja podatke od više senzornih jedinica kao što su pametne kuće i pametni zdravstveni sistemi.

#### 4.10.5. Li-Fi

Li-Fi (*Light Fidelity*) koristi vidljivu svjetlost umjesto radio frekvencije za razmjenu podataka. Prednost korištenja Li-Fi u odnosu na RF komunikaciju je u tome što može koristiti već postojeće sisteme rasvjete što također rezultira uštedom energije. Nudi veoma velike brzine prijenosa podataka na kratke udaljenosti i koristi se u parking sistemima.

#### 4.10.6. Wi-Fi

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) radi koristeći bežične frekvencije od 2,4 GHz i 5 GHz pojase za pružanje brze internetske veze na ograničenoj udaljenosti. Wi-Fi je popularan u mnogim aplikacijama za pametne gradove jer pruža interfejs spreman za korištenje za pametne telefone, kompjutere i druge nosive *gadgets* (dodatke, npr. pametni sat).

#### 4.10.7. Zigbee

ZigBee protokol je razvijen kao protokol niske potrošnje, niske cijene, za bežične senzorske mreže (WSN) i evoluirao je da se koristi u Internetu stvari. ZigBee protokol radi u opsegu 868 MHz/915 MHz/2,4 GHz i nudi umjerene brzine prijenosa podataka s udaljenostima sličnim Wi-Fi u shemi prijenosa podataka s više skokova. Zigbee radio uređaji su jeftini uređaji i stoga je to popularan protokol koji koriste mnogi proizvođači pametnih kuća i pametnih zdravstvenih uređaja. ZigBee mreža će imati tri uređaja, jedan koji se zove koordinator koji je kontrolor mreže, ruter koji je odgovoran za premještanje podataka na druge uređaje i ZigBee krajnji uređaj (senzori i aktuatori).

#### 4.10.8. Wi-SUN

*Wireless Smart Utility Network* (Wi-SUN) je mreža koju je odobrio IEEE i koristi se u terenskim mrežama za komunalna mjerenja, automatizaciju distribucije za komunalne usluge kao što su električna energija, gas itd., kao i za sisteme odgovora na potražnju za komunalne aplikacije. Podržava IPv6 adresiranje i može se koristiti u zvjezdanoj ili mrežnoj konfiguraciji gdje se također omogućava multi-hop komunikacija.

#### 4.10.9. Cellular

Ćelijske tehnologije se odnose na 3G, 4G i 5G komunikacije. Uz Bluetooth i Zigbee, one su najpopularnije tehnologije koje omogućavaju IoT. Ćelijska komunikacija pruža visoku brzinu prijenosa podataka i podržava aplikacije bogatije sadržajem u odnosu na druge protokole. Zbog velikog dometa koji pružaju, preferirani su za razne primjene gde snaga nije problem. Ovisno o tehnologiji, ćelijski pojasevi se kreću od 600 MHz do 80 GHz sa vrlo visokim brzinama podataka.

#### 4.10.10. LoRaWAN

LoRaWAN je skraćena od *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) i to je *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) koja se sastoji od nekoliko gateway-a i više krajnjih uređaja sa gatewayima povezanim na pozadinski mrežni server. Back-end server omogućava vezu sa oblakom. Krajnji uređaji nemaju fiksnu povezanost s određenim gatewayom i mogu slati podatke na više mrežnih prolaza kada treba prenijeti podatke na oblak.

#### 4.10.11. 6LoWPAN

6LoWPAN, što je skraćena za IPv6 mrežu male snage, kreirao je *Internet Engineering Task Force* (IETF) posebno za aplikacije interneta stvari sa ciljem omogućavanja internet konekcije malim uređajima. To je mreža zasnovana na IP protokolu i koristi IPv6 komunikaciju. Ovo je mreža kratkog dometa, koja radi u ISM opsezima.

#### 4.10.12. SigFox

SigFox je vlasnički standard koji je razvio SigFox Inc., Francuska. Koristi nelicencirane pojaseve za obavljanje ultra-uskopojasne dvosmjerne komunikacije s malim brzinama. SigFox ima sličnu arhitekturu kao LoRaWAN i kao LoRaWAN i 6LoWPAN, SigFox je popularan LPWAN u IoT domenu koji nudi dovoljno velike udaljenosti komunikacije do 50 km. SigFox pronalazi primjene u sigurnosti u zgradama, pametnoj rasvjeti i monitoringu životne sredine.

Tabela 3. Komparacija mrežnih tehnologija u IoT pametnim gradovima

Arhitektura	Tehnologija	Frekvencija/Medij	Podatkovna brzina	Domet	Topologija
<b>Kućna mreža (HAN)</b>	NFC	125 KHz, 13.56 MHz/860 MHz	106 Kbps, 212 Kbps ili 424 Kbps	10 cm	Point to Point
	RFID	125 KHz, 13.56 MHz	4 Mbps	3-10 m	Point to Point
<b>(FAN/NAN) Mreže širokog spektra (WAN)</b>	Li-Fi	125 KHz, 13.56 MHz	4 Mbps	10 m	Point to point,
	Bluetooth	/902-928 MHz	1-3.5 Gbps	240 m	Zvijezda, Mesh
	Z-wave	LED Light	do 2Mbps	30-100 m	Zvijezda
	Zigbee	2.4 GHz	40-100 Kbps	do 100 m	Mesh
	Wi-Fi	868 MHz / 900 MHz	250 Kbps	140 m, 100 m	Mesh, Zvijezda,
	6LOWPAN	868 MHz / 915 MHz / 2.4 GHz	54 Mb/s , 6.75 Gb/s	10-100 m	Drvo
		2.4 GHz / 5 GHz	do 250 Kbps		Drvo
		868 MHz / 915 MHz / 2.4 GHz			Mesh, Zvijezda
<b>(FAN/NAN) Mreže širokog spektra (WAN)</b>	Wi-SUN	868 MHz / 915 MHz / 2.4 GHz	do 300 Kbps		Zvijezda, Mesh
	NB-IOT	2.4 GHz	200 Kbps		Drvo
	LoRaWAN	Licencirani LTE bendovi	do 50 Kbps		Zvijezda
	Sigfox		100 bps		zvijezda
	3G	433 MHz / 868 MHz / 915 MHz	2 Mbps		Jedna zvijezda
	4G	915 MHz	do 1 Gbps		Drvo
<b>(FAN/NAN) Mreže širokog spektra (WAN)</b>	5G	433 MHz / 868 MHz / 915 MHz	do 20 Gbps		Drvo
		1.8 – 2.5 GHZ			Drvo
		600-5.925 GHz			
		600-80 GHz			

Izvor: Abbas Shah Syed, Daniel Sierra-Sosa, Anup Kumar, Adel Elmaghraby, (2021). IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges.

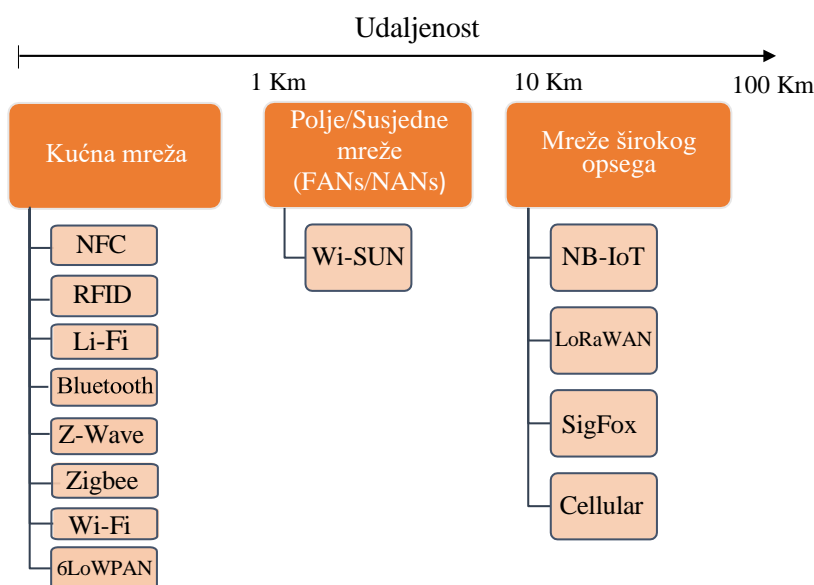
#### 4.10.13. NB-IoT

NB-IoT (Narrow Band IoT) je vrsta LPWAN-a koji radi na Globalnom sistemu za opsege mobilnih komunikacija (GSM) i Long-Term Evolution (LTE). U stvari, može raditi koristeći isti hardver sa nadogradnjom softvera jer se smatra osnovnom verzijom LTE-a. Omogućava povezivanje do 100.000 uređaja po ćeliji.

#### 4.11. Algoritmi velikih podataka/vještačka inteligencija

Različiti senzori koji čine internet stvari u pametnom gradu prenose informacije o stanju grada u oblaku. Međutim, mjerenje sirovih podataka nije dovoljno, da bi se iskoristili ovi podaci i učinili grad „pametnim“, ključna je analiza podataka.

Slika 12. Mrežne tehnologije za IoT pametne gradove



Izvor: Abbas Shah Syed, Daniel Sierra-Sosa, Anup Kumar, Adel Elmaghraby, (2021). *IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges*.

Analiza podataka u pametnim gradovima ima četiri sloja, prvi je *Data Acquisition* (prikupljanje podataka), koji se bavi prikupljanjem i skladištenjem podataka, nakon toga slijedi sloj preprocesiranja koji izvodi operacije (kao što je imputiranje nedostajućih vrijednosti, skaliranje, uklanjanje pogrešnih podataka itd.) na podacima kako bi se osiguralo da su podaci odgovarajućeg kvaliteta koji će se koristiti za fazu analitike podataka.

Faza analitike podataka uključuje primjenu tehnika nauke o podacima na podatke iz kojih treba izdvojiti obrasce i uvide koji bi se koristili za kreiranje politika, planiranje i druge akcije u sloju usluga. U ovom dijelu svoju pažnju usmjeravamo na treću fazu podataka proces analize, odnosno analitiku podataka. Analitika podataka u pametnom gradu zasnovana na IoT-u uključuje korištenje dubokog učenja i mašinskog učenja na prikupljenim podacima. U ovom radu ćemo se kratko osvrnuti na tri AI domene: pametna agrikultura, pametno zdravlje i pametna kuća.

#### 4.12. Mašinsko učenje

Mašinsko učenje (ML) je ključni element razvoja aplikacija za pametni grad, pomaže u predviđanju (klasifikacija), procjeni (regresija) i zadacima grupisanja. Mašinsko učenje se



odnosi na skup pristupa putem kojih se računari mogu koristiti za učenje iz empirijskih podataka i koristi se u pametnim gradovima u različitim aplikacijama (De Souza *et al.*, 2019). Budući da je bilo dosta posla u ovoj oblasti koristeći ML algoritme, fokusirat ću se na rad u posljednjih pet godina. Utvrđeno je da su najčešće korišteni ML algoritmi *Support Vector Machine (SVM)*, *Random Forests (RF)*, *Decision Tree (DT)*, *Naive Bayes (NB)*, *K-Means*, *K-Nearest Neighbor (K-NN)* i *Logistic Regression (LR)*.

#### **4.13. Duboko učenje**

Duboko učenje je korištenje uzastopnih slojeva umjetnih neuronskih mreža (*ANN - Artificial Neural Networks*) za učenje obrazaca. Ideja je da se uzastopni nelinearni slojevi međusobno povezani umjetnim neuronima mogu koristiti za učenje obrazaca u podacima koji jednostavni algoritmi mašinskog učenja možda neće moći. Arhitekture dubokog učenja mogu obraditi teške podatke kako bi pružile izlaz za zadatke klasifikacije i predviđanja. To ih čini veoma korisnim u pametnim gradskim okruženjima u kojem IoT omogućava prikupljanje heterogenih senzorskih podataka koji mogu biti različite prirode. Podaci dobijeni od senzora mogu se obraditi da bi se izdvojile karakteristike ili se mogu direktno prosljediti algoritmima dubokog učenja koji mogu izvršiti ekstrakciju oba svojstva kao i klasifikaciju/predviđanje.

#### **4.14. Upotreba AI za pametne gradove**

U ovom dijelu rada razmatrat ću o primjeni AI u pametnim gradovima, odnosno u dijelu, pametne poljoprivrede, pametnog zdravlja i pametnih kuća i spomenuti vrstu implementacije kao i prirodu podataka koji se koriste za postizanje njihovog zadatka.

##### **4.14.1. Pametna poljoprivreda**

Glavne primjene AI u IoT-u za poljoprivredu su praćenje usjeva/bolesti otkrivanje i njegu usjeva na temelju podataka i donošenje odluka. S obzirom na nestašicu vode, autori (Varghese, Sharmas, 2018) razvijaju sisteme za navodnjavanje koji prate i kontrolišu količinu vode koja se koristi za usjeve, a sve je strukturirano oko računarskog sistema u oblaku. Ovo problem je osmišljen i kao klasifikacijski i kao regresijski problem, koji razvijaju zatvoreni sistem za navodnjavanje vodom koristeći regresiju vektora podrške i K-srednje grupisanje. Otkrivanje bolesti biljaka je također važan zadatak u okviru pametne poljoprivrede i na njemu je radilo više autora koji predstavljaju šeme za otkrivanje bolesti za različite usjeve uključujući paradajz i krompir. Važno je napomenuti da su sve ove implementacije zasnovane na oblaku. Rad autora (Guillén-Navarro *et al.*, 2021), gdje su imali za cilj pratiti usjeve na znakove mraza i pokrenuti mjere protiv smrzavanja, uporediti rubne i cloud computing sisteme za izvanredne vrijednosti detekcije i utvrdili su da implementacije u oblaku pružaju mnogo bolje performanse. Međutim, oni primjećuju potencijal rubnih sistema da pruže podatke sa visokim odzivom analitike u pametnoj

poljoprivredi. Može se predvidjeti više aplikacija za primenu AI u pametnoj poljoprivredi, npr. praćenje rasta usjeva, odabir gnojiva i vremenski okvir za njegovu upotrebu, kao i ciljanu primjenu, detekciju štetočina i inteligentno prskanje pesticidima kako bi se smanjila šteta po okoliš, praćenje okoliša u cilju praćenja efekata klimatskih promjena i još mnogo toga. Neke od ovih aplikacija imaju potencijal biti raspoređeni kao rubni računarski sistemi.

#### 4.14.2. Pametno zdravlje

Postoje dvije glavne primjene IoT-a sa AI u oblasti zdravstva, a to su prepoznavanje aktivnosti/ otkrivanje pada i dijagnoza bolesti/praćenje zdravlja. Prepoznavanje aktivnosti uključuje korištenje senzora pokreta kao što su akcelerometri, žiroskopi i magnetometri koji imaju za cilj da pomognu korisniku da dobije povratnu informaciju o svom zdravlju u smislu da li imaju dovoljno fizičkog vježbanja ili ne, koristi se za sportsku terapiju, detekciju pada i za praćenje različitih bolesti poput Parkinsonove ili druge motoričke degenerativne bolesti. Najpopularniji senzori za prepoznavanje aktivnosti su inercijski senzori zasnovani na oblaku koristeći različite algoritme dubokog i mašinskog učenja. Tran, Phan (2016) preporučuju sistem zasnovan na rubu za obavljanje prepoznavanja aktivnosti za ljude snimanjem njihovih pokreta koristeći akcelerometar i žiroskop koji se nalaze na telefonu. Oni koriste SVM kao njihov klasifikator i razlikuju šest različitih aktivnosti svakodnevnog života. Opremljeni snagom AI u IoT-u, *Smart Health* sistemi olakšavaju pružanje telezdravstvene usluge kao i praćenje pacijenata u realnom vremenu, davanjem doktoru i pacijenatima povratne informacije o njihovom zdravlju. Sistemi za praćenje zdravlja i dijagnostika bolesti u realnom vremenu imaju jednu od najvažnijih primjena IoT tehnologije. Brojni autori su razvili sisteme za praćenje zdravlja zasnovane na oblaku za otkrivanje različitih vrsta bolesti, kao što su srce (moždani udar, nepravilan zvuk, nepravilan ritam, epileptični napadi, Parkinsonovi napadi i sistemi dijagnoze višestrukih bolesti. Mnogi istraživači formulišu problem dijagnoze bolesti kao klasifikaciju problema i koriste medicinske podatke kao što su EKG, EEG, otkucaji srca, krvni pritisak, krv šećer, srčani zvuk, glukoza u krvi, zdravlje jetre zajedno sa raznim mašinama i metodama dubokog učenja za postizanje ovog zadatka.

#### 4.14.3. Pametne kuće

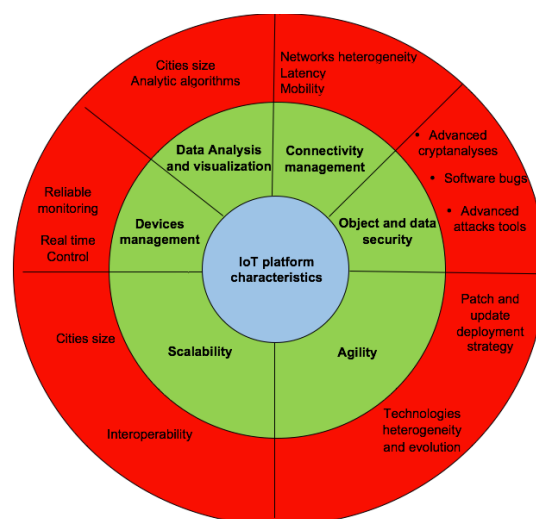
U ovaj rad uključujem sve monitoringe metode koje zavise od senzora postavljenih u domu/unutar domene pametne kuće. Pirzada, White i Wilde (2018) koristi mrežu *reed* prekidača povezanih na oblak za nadgledanje aktivnosti starijih osoba kao problem grupisanja. Oni koriste K-NN algoritam za utvrđivanje anomalija u svakodnevnim aktivnostima koje se potom mogu koristiti za slanje medicinskih ili drugi zahtjeva za pomoć ljudima. Slično podešavanje za prepoznavanje aktivnosti za ambijentalno potpomognuti život predstavljen je u nekoliko članaka gdje se koriste podaci iz brojnih različitih senzora uključujući kretanje, prisutnost, protok vode, temperaturu i razne druge aktivnosti koje se obavljaju u domu. Sistem potpomognutog življenja za gluhe osobe (Kim *et al.*, 2018) zasnovan na oblaku je razvijen da izvodi haptičke konverzije za zvukove koji se detektuju u

domu. Niz senzora se koristi za praćenje zvuka okoline i autori koriste RNN za detekciju zvučnog događaja prije nego što se prenese na izvor haptičke vibracije. Drugi zadatak u okviru monitoringa je lokalizacija ljudi, ovaj dio pametnih domova je također primjenjiv na pametnu infrastrukturu jer se takvi sistemi koriste u pametnim zgradama također. Primjene lokalizacije uključuju sigurnost, odnosno otkrivanje neovlaštenog prisustva i praćenje ljudi općenito (na primjer, lociranje starijih osoba u domovima) itd. Autori (Adege *et al.*, 2018) vrše lokalizaciju koristeći mrežu Wi-Fi jedinica koje mjere snagu signala za određivanje lokacija ljudi u zatvorenom prostoru za zgrade. To formulišu kao problem klasifikacije i problem regresije. Problem klasifikacije se formuliše kao kodirane lokacije (za, npr., datu sobu broj) dok slučaj regresije vrši procjenu lokacije korisnika u koordinatnoj mreži. Njihov sistem je baziran na oblaku i oni koriste duboku neuronsku mrežu za obavljanje ovog zadatka. Kućna automatizacija je još jedna aplikacija da IoT pronađe primjenu unutar *Smart Home* domene. Integracija AI je pomogla u razvoju sistema za automatizaciju pametnih kuća koji imaju za cilj smanjenje potrošnje energije unutar domova, kao i održavanje privatnosti, sigurnosti korisnika. Iako su aplikacije pokrivene u dijelu pametnih kuća sistemi zasnovani na oblaku, nedavno su predloženo okviri koji kombinuju obradu rubova i oblaka koji raspravljaju o hijerarhijskom sistemu upravljanja za pametne kuće kroz rub mikromreža i elektroenergetske mreže u oblaku. Zbog prirode pametnih domova, senzorska shema je prisutna unutar ograničenog prostora (unutar kuće), sistemi zasnovani na računanju rubova i magle se očekuju da budu sve više uključivani u aplikacije za pametne kuće.

## 5. IOT IZAZOVI ZA PAMETNE GRADOVE

Internet stvari obećava digitalizaciju svih aspekata našeg života. Za pametne gradove, ovaj proces digitalizacije podrazumijeva proliferaciju senzorskih čvorova u svakom domenu mehanizma rada grada.

Slika 13. IoT karakteristike za ostvarivanje pametnog grada i njegoa ograničenja



Izvor: Badis Hammi, Achraf Fayad, Rida Khatoun, Lyes Khoukhi, „IoT technologies for smart cities“, Article · January 2018, IET Research Journals, pp. 1–14.

Sa ovako širokim opsegom primjene, stvaranje i naknadna implementacija IoT sistema u pametnim gradovima nosi ogromne izazove koje je potrebno uzeti u obzir. U ovom dijelu rada diskutovat ću o izazovima koje postavlja IoT sistem a sa kojim se dizajneri suočavaju prilikom implementacije u aplikacijama za pametne gradove. Fokus je na tehnološkim izazovima koji se odnose na korištenje IoT-a u pametnim gradovima i koji su bili fokus istraživača. Slika 13 ilustruje glavne karakteristike IoT-a za postizanje pametnih gradova i izazove koji se moraju savladati da bi se postigao takav cilj. Glavna pitanja su ona koja se odnose na skalabilnost, umrežavanje, transport, heterogenost, privatnost i autentifikacija.

## 5.1. Pametni senzori

Pametni senzori su hardverske komponente koje prikupljaju podatke u pametnim gradovima. Ove uređaje proizvodi mnoštvo različitih proizvođača koji se pridržavaju različitih senzorskih mehanizama, standarda mjerenja, formata podataka i protokola povezivanja. Implementacija pametnog grada će zahtijevati da svi ovi uređaji razmjenjuju podatke, vrše raspoređivanje zadataka između njih i budu u stanju da agregiraju podatke zajedno za donošenje zaključaka. A rješenje ovog problema je razvoj i korištenje otvorenih protokola i formata podataka koji će omogućiti proizvođačima da kreiraju opremu koja može međusobno komunicirati, time će se dodatno podsticati implementacija IoT sistema.

Drugo rješenje mogao bi biti razvoj „standardnih“ čvorova, pristupne točke za IoT sisteme koji mogu komunicirati s uređajima koji koriste nekoliko različitih komunikacijskih protokola i mogu dekodirati primljene informacije. Neki proizvođači su, zapravo, učinili svoje proizvode kompatibilnim s drugim protokolima. Još jedan izazov za pametne senzore je pouzdanost i robusnost. Pouzdanost i robusnost se odnosi na pouzdanost i ispravnost IoT sistema. IoT je okosnica budućih pametnih gradova i predstavlja imperativ za njihov rad, IoT sistem mora svojim korisnicima pružiti glatko iskustvo. Ovo zahtijeva da servisni zahtjev korisnika za aplikacijom dobije tačan i blagovremen odgovor. Kvalitet usluge treba biti osiguran za svakog građanina u pametnom gradu. Sistemi koji isporučuju kritične uslužne programe kao što su transport, električna energija, treba decentralizirati.

Distribuirane priključne tačke će omogućavati robusnost i povećati pouzdanost. Jedan takav primjer je samoizlječenje u Smart Mrežama. Mnogi trenutni mrežni protokoli su razvijeni za infrastrukturno umrežene uređaje koji imaju pristup neprekidnom napajanju, međutim, senzori u pametnim gradovima će biti mobilni u mnogim scenarijima i stoga će se morati napajati baterijama. Štaviše, morat će mjeriti, prenositi i u nekim slučajevima čuvati podatke koje su prikupili. Ovo zahtijeva razvoj ne samo šema za prijenos podataka male snage, niskog opterećenja, već i razvoj novih memorijskih i tehnologija pohrane podataka kao i uređaja male snage koji produžuju vijek trajanja baterije što je više moguće.

Pohranjivanje ovako velike količine podataka bi zahtijevalo razvoj algoritama kompresije koji će se koristiti i šeme baze podataka koji će se morati razvijati u budućnosti kako se pametni gradovi i IoT povećavaju. Rješenja za pitanja napajanja zahtijevaju razvoj novih

tehnologija baterija i možda ugrađivanje mehanizama za prikupljanje energije u takve uređaje kako bi omogućili dugotrajno pružanje usluga.

Slika 14. Izazovi za IoT u pametnim gradovima



Izvor: Autor završnog rada

## 5.2. Mrežni i transportni problemi

IoT ovisi o sposobnosti senzora i drugih uređaja koji mogu slati i primiti informacije jedni od drugih kao i sa oblakom. Stižu nove aplikacije za pametne gradove, tako da umrežavanje ovih uređaja kako bi ostali povezani je veliki izazov. Trenutne metode umrežavanja nisu optimizirane za pružanje mrežnih usluga za komponente pametnog grada. Mnogi uređaji u pametnim gradovima imaju zahtjeve za mobilnost i protok podataka koje je potrebno ispuniti da bi se pružila prihvatljiva kvaliteta usluge. Različiti pristupi su predloženi u smislu definiranja pristupnih tačaka, lokalnih mreža itd., kako bi se riješio ovaj problem. Drugi aspekt umrežavanja bio bi rad na efikasnim i dinamičnim protokolima za rutiranje koji mogu zadovoljiti IoT zahtjeve i koji mogu raditi sa stacionarnim kao i uređajima u pokretu, što mnogi trenutni protokoli ne omogućavaju. IoT će uključivati ogroman broj objekata koji bi trebali biti dostupni. Osim toga, svaki objekat će proizvoditi sadržaj koji se može dohvatiti

od strane ovlaštenog korisnika bez obzira na njegovu/njezinu lokaciju. Za postizanje ovog cilja, treba implementirati efikasne politike adresiranja. Trenutno je IPv4 najdominantniji protokol. Međutim, poznato je da se broj dostupnih IPv4 adresa smanjuje ubrzano i IPv4 će uskoro postati neadekvatan u pružanju novih adrese. Stoga moramo koristiti druge politike adresiranja. IPv6 adresiranje predstavlja najbolju alternativu IPv4.

Takođe je važno napomenuti da RFID mobilnost nije podržana i još uvijek predstavlja otvoreno istraživačko pitanje. U tradicionalnim mrežama IP adrese se rješavaju putem *Domain Name System* (DNS). U IoT-u dolazi do komunikacije između objekata. Dakle, *Object Name Service* (ONS) mora biti uveden i podržan. Poteškoće ONS se javljaju posebno u slučaju kada je objekt RFID tag. U ovom slučaju, identifikator taga (ili IP adresa) se mapira na *Internet Uniform Reference Locator* (URL), koji ukazuje na relevantne informacije o objektu. U drugim slučajevima, ONS mora imati sposobnost povezivanja opisa objekta sa datim RFID tag identifikatorom (ili IP adresom). Međutim, dizajn i standardizacija takvog sistema se još uvijek istražuje od strane istraživača i dizajnera takvog sistema. Glavni ciljevi transportnog sloja su u garantovanju pouzdanost sa kraja na kraj i za obavljanje kontrole zagušenja. Transportni sloj igra bitnu ulogu u IoT-u. Napadi na ovaj sloj i njegov temeljni protokol rutiranja će ozbiljno uticati na rad mreže. Stoga, dizajn sigurnog i efikasnog protokola rutiranja je važna oblast istraživanja u kontekstu interneta stvari (IoT). Zbog tipičnih karakteristika IoT objekata, postojeća rješenja koja su prethodno primijenjena za ad hoc i senzorske mreže ne zadovoljavaju u potpunosti potrebe IoT-a. Na primjer, napadi uskraćivanja usluge (DoS) mogli bi se lakše postići na više IoT sistema. Posljedice takvih napada bile bi katastrofalne za sisteme i njihove krajnje korisnike. Najbolji način za otkrivanje i zaustavljanje DoS i DDoS napada je korištenjem sistema za otkrivanje upada (IDS). Međutim, implementacija ovakvih sistema u IoT infrastrukturi se čini kao vrlo izazovan zadatak zbog specifičnih karakteristika objekata i njihovih mogućnosti.

### **5.3. Sigurnost i privatnost**

Sigurnost je, uz privatnost, primarna briga u pametnim gradovima. Pametni gradovi uključuju postojanje osnovne gradske infrastrukture na mreži, bilo kakve smetnje u radu grada će donijeti neugodnosti svojim građanima i ugroziti ljudske živote i imovinu. Stoga je sigurnost velika briga u pametnim gradovima. U današnjem dobu u kojem je sajber kriminal i ratovanje postalo taktika u svjetskoj politici, pametni gradovi su u sve većem riziku biti meta ovakvih zlonamjernih napada. Šifrovanje podataka koji se prenose preko mreža je neophodno u ovom scenariju. Da bi projekti pametnih gradova bili uspješni, potrebni su povjerenje i učešće građana. Štaviše, kompanije i korporacije na IoT mreži mogu koristiti podatke građana bez njihovog odobrenja za stvari poput ciljanog oglašavanja i mogu vršiti radnje kao što je prislušivanje itd. Rješenja za ovo će zahtijevati procese koji će anonimizirati prikupljanje podataka uz zadržavanje integriteta konteksta mjerenog zadatka tako da je moguće pravilno odlučivanje. Sigurnost IoT-a je veliki izazov za održivost i konkurentnost kompanija i administracija. Konvencionalna sigurnosna rješenja kao što su autentifikacija, povjerljivost i integritet podataka su kritični za IoT objekte, mreže i

aplikacije. Ako IoT objekti imaju dovoljno memorije i procesorske snage, postojeći sigurnosni protokoli i algoritmi mogu biti primjenjivi, ali zbog ograničenja resursa IoT objekata, ova postojeća sigurnosna rješenja su preskupa za objekte u IoT-u. IoT je vrlo ranjiv na napade iz brojnih razloga: (1) obično, objekti provode većinu svog vremena bez nadzora, što čini fizičke napade na njih relativno lahke, (2) većina komunikacija je bežična, što čini da je napad *Man-in-the-Middle* jedan od najčešćih napada na takav sistem. Posljedično, razmijenjene poruke mogu biti predmet prisluškivanja, zlonamjernog usmjeravanja, kvarenja poruke i drugih sigurnosnih pitanja koja mogu uticati na sigurnost cijelog IoT i (3) više vrsta objekata kao što su RFID oznake imaju ograničene resurse u smislu energije i računске snage, koji ih sprječavaju da implementiraju napredna sigurnosna rješenja. Povezani objekti imaju svoje vlastite ranjivosti povezane sa njihovim specifičnim karakteristikama, pored postojećih ranjivosti. Ove nove ranjivosti su uzrokovane od:

- Povezani objekti koriste različite vrste operativnih sistema i koji nisu uvijek dobro poznati. Kod operativnog sistema obično govorimo o desetinama hiljada ili miliona linija koda. Dakle, vjerovatnoća postojanja ranjivosti je visoka.
- Ne postoje poznati sigurnosni standardi.
- Postoji mnogo vlasničkih protokola.
- Arhitekture su vrlo heterogene, a fizička sigurnost je često kompromitovana.
- Ažuriranje softverskog integriteta povezanih objekata nije zajamčeno.
- Sigurnost pohranjenih podataka nije zajamčena.
- Ograničeni resursi povezanog objekta sprečavaju upotrebu klasične kriptografske funkcije i sigurnosnih protokola.

Pitanja sigurnosti podataka mogu se sažeti u povjerljivost podataka, autentičnost podataka, integritet podataka i svježinu podataka. Kriptografske tehnike su najbolja rješenja za podršku ovim sigurnosnim potrebama. Pametni gradovi uključuju prijenos senzorskih podataka, kontrolnih informacija kako putem interneta tako i putem lokalne mreže. Štaviše, nekoliko komponenti u pametnim gradovima ima tendenciju kritičnih aspekata gradskih operacija i jako su isprepleteni sa društvenim i privatnim životom svojih građana. Shodno tome, sigurnost i privatnost u pametnim gradovima je od velikog značaja i od velikog interesa za istraživače. Pametni gradovi su omogućeni prikupljanjem podataka putem senzora u gradu, kao i putem stanovništva grada, obradom i rudarenjem kako bi se ljudima koji žive u gradu pružio bolji kvalitet života. Ovi senzori mogu dati procjenu o unutrašnjem stanju gradskih komponenti, npr. transport, elektroenergetski sistem, stanje zgrada, mobilnost ljudi i drugo. Svi ovi podaci se šalju u oblak gdje se obrađuju i rudare. Međutim, postoje nekoliko pitanja koja se odnose na način na koji se ti podaci šalju i koriste i postavlja se pitanje o integritetu, zaštiti i povjerljivosti ovog procesa. Zapravo, ova briga nije neopravdana zbog napada na električnu mrežu Ukrajine 2015. koji je ostavio 225.000 ljudi bez energije, otvorio je svijetu oči za vrlo stvarnu prijetnju koju predstavljaju sajber napadači. Podaci prikupljeni u *Smart City* aplikacijama mogu se koristiti za obavljanje mnogih neželjenih radnji, GPS uređaji koji su prisutni u svakom telefonu i većini vozila su podložni pružanju informacije o lokaciji osobe, navikama kao i činjenici da dovode do pitanja privatnosti, potrošnja energije i podaci

senzora ambijenta iz zgrade mogu ukazivati na popunjenost zgrade, pa čak i na individualne identitete. Ove informacije mogu biti korištene od strane napadača za izvođenje nezakonitih radnji koje uzrokuju rizik po život i imovinu. Da bi se osigurao Internet stvari za pametne gradove, tipične sigurnosne šeme možda neće biti jednako efikasne u mnogim slučajevima i morat će se razviti nove metode kako bi se nosile s pitanjima sigurnosti i privatnosti u IoT-u za pametne gradove. Kako bi se obezbijedio standardizovan okvir i terminologija za diskusiju o sigurnosnim napadima, prilagodit ću taksonomiju incidenta standardnog napada (Howard, Longstaff, 1998) koju je predložio kompjuterski tim za hitne slučajeve (CERT - *Computer Emergency Response Team*) koju je uspostavila DARPA za korištenje u IoT-u za pametne gradove.

### 5.3.1. Povjerljivost podataka, integritet i autentifikacija

Mnogi scenariji IoT aplikacija zahtijevaju visoku sigurnost podataka, uključujući povjerljivost podataka i integritet podataka. Ovaj zahtjev se može riješiti enkripcijom podataka. Algoritmi šifriranja podataka su podijeljeni u dvije kategorije: (1) simetrični algoritmi šifriranja, i (2) algoritmi šifriranja s javnim ključem. Ovi drugi troše više resurse što ih čini težim za implementaciju na objekte sa ograničenom snagom i energetske resursima. Nasuprot tome, simetrični algoritmi su pogodni za takve uređaje i široko se koriste u tom kontekstu. Međutim, oni pate od nekoliko nedostataka: (1) Simetrični protokoli za razmjenu ključeva takvih kriptosistema su prekompleksni i ograničavaju skalabilnost infrastrukture, (2) oni trpe od problema povjerljivosti dijeljenih ključeva. Zaista, što je veći broj objekata, veći je sigurnosni rizik. Ako je jedan ključ kompromitovan, sve systemske komunikacije su ugrožene također. Kao rješenje, sistem se može podijeliti u više grupa i različiti simetrični ključ se koristi unutar svake grupe. Ipak, rizik ostaje, jer ako je jedan ključ kompromitovan, komunikacija sa grupom je također kompromitovana. Za rješavanje ovog problema, istraživači su razmatrali algoritme šifriranja s javnim ključem. U ovom rješenju, svaki objekt posjeduje par javnih i privatnih ključeva. Svaki objekat čuva svoj privatni ključ, dok bazna stanica čuva javni ključ svih objekata.

### 5.3.2. Upravljanje ključem

Upravljanje ključem je još jedan važan problem u IoT-u. On igra vitalnu ulogu u implementaciji raznih sigurnosnih rješenja. Upravljanje ključem uključuje više koraka koji obuhvataju generiranje ključeva, distribuciju, skladištenje, ažuriranje i uništenje. Važna komponenta ciklusa upravljanja ključem je distribucija ključa koja uključuje siguran prijenos i distribuciju legitimnim korisnicima: (1) javnih ključeva i dijeljenih tajni u slučaju asimetrične kriptografije i (2) tajnih ključeva u slučaju simetrične kriptografije. Brojni radovi su predložili šeme upravljanja ključem, prilagođene tehnologijama koje čine IoT ekosistem, tačnije za WSN posljednjih godina. Koristi se upravljanje simetričnim ključem, javni ključevi, skraćeni (skraćeni certifikat gdje neka polja su uklonjena) ili implicitni certifikati. Međutim, ove rješenja su prvenstveno dizajnirana za WSN i nisu pogodna za sve



vrste objekata. Posljedično, dizajn pojednostavljene šeme upravljanja ključevima prilagođene IoT okruženju i njegovim scenarijama primjene, ostaje ključno pitanje koje treba riješiti u budućnosti.

### 5.3.3. Upravljanje povjerenjem

Potrebno je razviti i implementirati mehanizme upravljanja povjerenjem u IoT. U brojnim scenarijima, mreža se oslanja na saradnju svih čvorova. Ranjivost jednog čvora može imati ozbiljne posljedice na cijelu mrežu. Ako napadač uspije kompromitirati ili dodati jedan ili više objekata u mrežu, napadač može pružiti lažne ili pogrešne informacije, što može naknadno uticati na saradnju između čvorova, tretman podataka i rezultat dostavljen do krajnjeg korisnika. Stoga je kredibilitet svakog pojedinačnog čvora ključan kako bi se osigurala tačna i pouzdana isporuka mrežnih usluga. Trenutne šeme upravljanja povjerenjem poput onih predloženih u literaturi samo pružaju provjeru konzistentnosti i valjanosti podataka, ali ne mogu garantirati autentifikaciju objekata. Nadalje, ove predložene šeme nisu u potpunosti prilagodljive kontekstu IoT-a.

## 5.4. Pitanja heterogenosti

Često se u IoT scenarijima podaci prikupljaju od velikog broja objekata koji su široko rasprostranjeni. Međutim, prikupljeni podaci na različite načine koristeći različite protokole obično imaju različite formate. Dakle, nije moguće efikasno analizirati, obraditi, pohraniti takve podatke bez nekog standardnog formata. Ovaj nedostatak standarda također čini integraciju podataka dobijenih iz heterogenih izvora teškom. Stoga je potrebno razviti (1) standarde koji se odnose na unificirano kodiranje podataka i (2) protokole za razmjenu informacija koji će omogućiti efikasno i neometano prikupljanje podataka među heterogenim IoT objektima.

## 5.5. Uskraćivanje usluge

Ogroman broj internet uređaja u gradovima predstavlja pravi mamac za zlonamjerne ljude. Na primjer, u velikom gradu, hiljade ili deset hiljada uređaja istovremeno komuniciraju sa korisnicima i međusobno, sigurnosne implikacije su značajne. Pametni gradovi su idealna meta za hakere da kreiraju IoT bot mreže. IoT mreža botova se sastoji od kompromitovanih uređaja i koristi se za obavljanje različitih zadataka bez znanja njihovih legitimnih korisnika. U 2016. godini firma Dyn je patila od napada uskraćivanja usluge izazvanim desetinama hiljada povezanih objekata (uglavnom povezane kamere kineskog proizvođača XiongMai) za zasićenje svoje infrastrukture. Napad je rezultirao u nemogućnosti Dyn-a da pruži DNS uslugu. Neki od povezanih objekata uključenih u napad, napadnuti su zlonamjernim softverom Mirai. Ovaj alat iskorištava ranjivosti prisutne u nekim povezanim objektima kao što je korištenje zadane lozinke koja nije promijenjena do korisnika. Stoga se IoT mreže sve više koriste kao platforma za napada od zlonamjernih napadača.

## 5.6. Analitika velikih podataka

IoT povezani uređaji generirali su 13,6 Zetta bajtova podataka u 2018. i očekuje se da će taj broj porasti na 79,4 Zetta bajta do 2025 godine (Lele, 2019). Za korištenje ovih podataka i kontinuirano poboljšavanje usluga koje se pružaju u pametnim gradovima, nove algoritme za analizu podataka treba razviti. Uz mnoštvo različitih parametara koji se mjere u pametnim gradovima, ovi algoritmi moraju biti primjenjivi na podatke različite prirode (strukturirane i nestrukturirane), potrebno je razviti i bolje tehnike spajanja podataka kako bi ih kombinovali na smislene načine i mogli izvući zaključke i prepoznati uzorke. Autori (Rahman *et al.*, 2020) predstavljaju objašnjivi sistem zdravstvene zaštite zasnovan na dubokom učenju na rubu mreže, za njegu COVID-19 pacijenata zasnovanu na distribuiranoj paradigmi učenja sa obećavajućim rezultatima. Kao što sam već spomenuo, pametan grad se prvenstveno oslanja na komunikacijske tehnologije. Dakle, kako broj uređaja raste eksponencijalno, pametan grad postaje izvor ogromnih količina podataka koji se često nazivaju velikim podacima. Efikasna upotreba, preplitanje i korelacija različitih vrsta podataka može poboljšati više aplikacija i zadataka kao što su:

- Olakšavanje donošenja odluka u cilju poboljšanja kvaliteta usluga koja se nudi krajnjim korisnicima.
- Vizualizacija i simulacija događaja i use caseova.
- Modeliranje novih use caseova.
- Upravljanje nesrećama i katastrofama.

Na primjer, ako se dogodi nesreća, to će biti prijavljeno upravljačkoj infrastrukturu (centru) putem saobraćajnih informacija. Zatim, centar za upravljanje šalje najbliža policijska vozila (koji imaju niži prioritet zadatka prema njihovim prenesenim informacijama) i zahtjeve za kola hitne pomoći. Osim toga, centar šalje upozorenje o nesreći vozačima automobila u području u kojem je nastala nesreća putem čovjek-mašina interfejsa (HMI) i oglasne table na cestama, te preporučuje izmjenu putovanja automobila koji prolaze kroz područje nesreće. Takođe može modificirati prometne tokove i svjetla kako bi olakšali zadatke za hitnu pomoć. Isti scenario je moguć i u slučaju požara gdje će centar za upravljanje biti obavještavan putem namjenskih uređaja. Međutim, nijedna od gore navedenih prednosti se ne može postići bez efikasnog načina upravljanja i iskorištavanja tako velikih količina generiranih podataka i infrastruktura velikih razmjera. Trenutno, najpopularnija tehnologija je cloud tehnologija. Rješenja u oblaku pomažu u skladištenju, vizualizaciji i obradi prikupljenih podataka u cilju pravovremenog zaključivanja i odluka. Brojni su primjeri aplikacija koje upravljaju i analiziraju gradske podatke i pružaju korisne informacije korisnicima. Autori raspravljaju o nekoliko zanimljivih slučajeva upotrebe. Jedan primjer je saradnja između IBM-a i brazilske vlade za izgradnju instrumentiranog sistem za cijeli grad koji prikuplja, obrađuje i analizira tokove podataka iz 30 izvora kao što su vremenski podaci, saobraćajni podaci o državnom i javnom transportu, podaci hitnih službi, općinski i podaci o komunalnim uslugama itd.

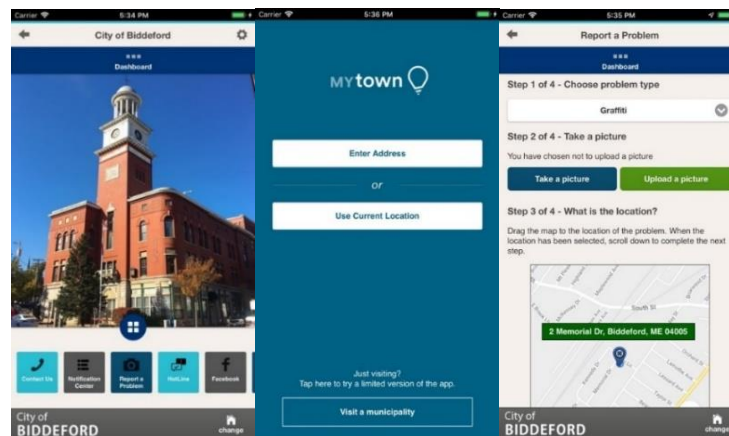
Slika 15. Centar za upravljanje podaci u Rio De Janeiru



Izvor: [https://use.metropolis.org/system/images/1605/article/7454899076\\_ab86d84cd5\\_k.png](https://use.metropolis.org/system/images/1605/article/7454899076_ab86d84cd5_k.png) (Pristupljeno: 01.02.2023).

Korelacijom i umrežavanjem informacija se kontinuirano istražuju određeni aspekti gradskog života u cilju predlaganja novih rješenja. Ovaj centar za analizu podataka pod nazivom "Centro De Operacoes Prefeitura Do Rioy" nalazi se u Rio De Janeiru (prikazano na slici 15). Drugi primjer je kompanija RealTerm Energy iz SAD-a koja je pokrenula MyTown aplikaciju za pametni grad koja omogućava građanima da prijave probleme direktno lokalnoj upravi. Aplikacija može uključivati probleme vezane za sakupljanje otpada, parking, rupe, prekid ulične rasvjete itd. Osim toga, građanima pruža pristup preko 30 različitih izvora informacija. Slika 16 predstavlja primjere snimaka ekrana mobilne aplikacije. Aplikacija se već pokazala od velike vrijednosti za preko 30 gradova različitih veličina i za 3,6 miliona građana širom Sjeverne Amerike.

Slika 16. Screenshot-ovi Mytown mobilne aplikacije



Izvor: <https://appadvice.com/app/mytown-smart-city/1440526503> (Pristupljeno: 01.02.2023).

## 5.7. Slojevi aplikativnog softvera (*Middleware*, aplikacijski i poslovni sloj)

Sigurnost i privatnost u slojevima aplikativnog softvera teže problemima koji se odnose na pohranjivanje podataka i njihovo korištenje. To su vidljivost podataka, pristup i ubacivanje.

### 5.7.1. Vidljivost/identifikacija podataka

Kada se podaci prikupe, šalju se u oblak gdje se pohranjuju i rade za izradu zaključaka. Budući da bi oblak koristilo više entiteta sa različitim standardima sigurnosnih protokola i praksi, izuzetno je važno da su podaci pohranjeni u oblaku šifrirani kako se ne bi dozvolilo njihovo izlaganje neželjenim entitetima. Svi podaci pohranjeni na običan način bi predstavljali rizik ne samo za privatnost korisnika, već i za kompanije.

### 5.7.2. Pristup podacima/sekundarna upotreba

Kontrola pristupa je također glavni problem u podacima pametnih gradova. Većina aplikacija za pametne gradove se oslanja na korištenju podataka iz različitih aplikacija za pružanje pametnih usluga, što rezultira prikupljenim podacima koje će koristiti mnoga preduzeća. Da se to dogodi neometano uz očuvanje privatnosti, potrebno je osmisliti odgovarajuće šeme kontrole pristupa kako bi se omogućio odgovoran pristup korisnicima ovih podataka. Dobro definirana hijerarhija korisnika podataka će se morati razviti i implementirati kako bi se pristup ograničio samo na ovlašteno osoblje. Kontrola toka informacija bi trebala biti korištena također, da se može pratiti protok podataka kao pristup istim i otkrivanje bilo kakvog kršenja pravila pristupa ili korištenja. Štaviše, grupisani podaci koji će se pojaviti u oblaku gdje više entiteta spaja svoje podatke za rad na nekom zajedničkom cilju, trebaju imati odgovarajući nadzor. Predlaže se da se koristi Blockchain za kontrolu pristupa, kao i za praćenje pristupa korisnika u IoT aplikacijama gdje se svaki korisnički pristup usluzi ili aplikaciji završava kao transakcija za formiranje traga u IoT aplikacijama.

### 5.7.3. Ubacivanje podataka/Integritet podataka

Ubacivanje podataka se odnosi na ubacivanje lažnih informacija ili modifikaciji informacija o korisniku u sistemu nakon dobijanja pristupa. Pošto se podaci obično pohranjuju u bazama podataka, SQL injekcija uključuje napadača koji ubacuje upite za izmjenu podataka ili umetanje lažnih podataka u bazu podataka. To može imati dalekosežne posljedice za aplikacije pametnih gradova kao što je manipulacija kartonima pacijenata, kao i manipulacija ili brisanje vladinih evidencija/zapisa. Šeme prevencije SQL injekcije uključuju provjeru valjanosti podataka prije upotrebe (Rizvi *et al.*, 2018) kao što je pozitivno podudaranje uzorka. To također uključuje ograničavanje pristupa bazi podataka na zahtjeve korisnika i izvođenje penetracijskog testiranja.

## 5.8. Mrežni sloj

Kao i druge mreže, IoT u pametnim gradovima također je podložan mrežnim napadima kao što su odbijanje servisa, prisluškivanje/njuškanja, *Man in the middle* napad, napad bočnim kanalom i *spoofing* napadi. U nastavku ću govoriti o ovim napadima i korektivnim akcijama koje bi trebalo poduzeti kako bi ih spriječili.

### 5.8.1. Man in the middle napad

„Čovjek u sredini“ (MITM) napad se odnosi na presretanje podataka na mreži lažiranjem identiteta mrežnog čvora ili uređaja. To se izvodi tako što se „neovlašteni glumci“ pojavljuju kao traženi primatelj za pošiljaoca i originalni pošiljatelj za primaoca. Da bi se to spriječilo, razmjena podataka između dva entiteta treba koristiti kriptografske protokole koji mogu osigurati sigurnu komunikaciju. Mnoge javne mreže ne koriste šifriranje prilikom razmjene podataka, to ugrožava korisničke podatke i može dati pristup korisničkim informacijama neželjenim osobama. Potrebno je osmisliti politike koje će dozvoliti prikladne podatkovne standarde komunikacije za takve mreže uz zadržavanje korisnika kao i komercijalne interese na umu.

### 5.8.2. Napad prisluškivanja/njuškanja

Prisluškivanje se odnosi na slušanje podataka na mreži. U prisluškivanju neovlašteni subjekt se pridružuje mreži i može slušati podatke koji se razmjenjuju između uređaja na mreži. Da bi se to izbjeglo, strategije uključuju korištenje protokola autentifikacije koji pokreću korake provjere autentičnosti kad god uređaji trebaju komunicirati jedan sa drugim. Ovo će osigurati da niti jednom neželjenom korisniku nije dozvoljen pristup mrežnom prometu kako bi se spriječili takvi napadi. Štaviše, industrijske standardne sigurnosne protokole kao što je TLS, WPA2 treba koristiti za autentifikaciju udaljenog pristupa.

### 5.8.3. Napad bočnim kanalom

Napadi bočnim kanalom se odnose na ekstrakciju informacija posmatranjem operacijskih karakteristika implementiranih kompjuterskih algoritama ili sistema kao što su potrošnja energije, potrebno vrijeme, analiza prometa, analiza kvarova, akustička analiza (Ali *et al.*, 2017). *Side Channel* napadi ne daju nedozvoljenim stranama pristup podacima unutar mreže, ali mogu im omogućiti da odrede važne informacije o sistemu, kao što je informacija koji protokol se koristi ili im dozvoliti da ispuste pakete kako bi se smanjile performanse mreže. Jedno rješenje za suzbijanje napada bočnim kanalom sa aspekta mrežnog saobraćaja je zasićenje propusnog opsega mreže kako bi se spriječilo uočavanje obrazaca. Još jedna popularna metoda prevencije bočnih kanalskih napada je korištenje maskiranja (Choi, Kim, 2016).

#### 5.8.4. Denial of Service napad

Uskraćivanje usluge (DOS) ili distribuirani DOS napadi uključuju entitet koji dobijajući pristup mreži i korištenjem legitimnih čvorova unutar iste ima za cilj da preplavi određeni čvor nepotrebnim zahtjevima za korištenjem propusnog opsega mreže i degradiranjem kvaliteta usluge. Sa pametnim gradom koji zavisi od senzora koji mu pružaju „pogled“ na grad, DOS napadi mogu napraviti sistem pametnog grada slijepim što može dovesti do gubitka imovine i života. Protivmjere za DOS napade uključuju otkrivanje anomalija praćenjem mrežnih podataka za provjeru bilo kakvo nepravilnog ponašanja. Umjetna inteligencija je našla primjenu u ovoj oblasti (Al-Garadi *et al.*, 2018), na primjer, korištena je za identifikaciju abnormalnih podataka u pametnim mrežama kao i otkrivanje napada.

#### 5.8.5. Spoofing napad

U napadu lažnog predstavljanja (*spoofing attack*), napadač se dodaje u mrežu tako što izgleda kao da je legitiman uređaj na mreži, čime mu se omogućava da šalje nepravilne ili nenormalne podatke koji poremete normalan rad sistema pametnog grada. Zbog različite prirode i tipova IoT uređaja koji imaju različite nivoe ugrađene sigurnosti, lažno predstavljanje je posebno opasan napad na IoT sisteme. Metode za sprječavanje lažiranja su korištenje kriptografije, hibridne enkripcije kao i korištenje blockchaina za validaciju razmjene podataka kao i autentifikaciju uređaja.

### 5.9. Sloj percepcije

Napadi slojeva percepcije odnose se na fizičke napade na sistem pametnog grada zasnovan na IoT-u. To zahtijeva fizičko prisustvo napadača u blizini senzorskih elemenata u IoT-u sistem. Razlog za pokrivanje i ovih napada jeste kako bi pružio holističku procjenu sigurnosti i problema privatnosti u IoT pametnim gradovima. Uništavanje podataka i radio smetnje (ometanje) su napadi koji mogu uticati na performanse sistema pametnih gradova. Može doći do uništavanja podataka tokom razvoja ili proizvodnog procesa dok se ometanje može odvijati zbog generiranja radio frekvencija koje ometaju frekvencije koje koriste uređaji na mreži za razmjenu podataka. Da bi se ovo zaobišlo, politike mogu biti ugrađene u softver koji upozoravaju preduzeća i druge partnere *Smart City* rješenja na nedostajuće ili abnormalne podatke senzorskih uređaja.

### 5.10. Sistemski problemi

#### 5.10.1. Curenje podataka

Curenje podataka odnosi se na nenamjerno prenošenje informacija o subjektima pametnih gradova. Mnogi izvori podataka u pametnim gradovima mogu sadržavati informacije vezane za identitet korisnika, zdravlje, kvalitet života itd. Menadžeri *Smart City* aplikacija koriste

ove podatke za poboljšavanje svoje usluge i pružanje boljeg korisničkog iskustva, međutim, moguće je da ovi podaci podijele i sa trećim licima. Stoga je potrebno anonimizirati podatke prije preuzimanja takvih zadataka. Do curenja podataka može doći i kada uređaji unutar mreže obavljaju zadatke otkrivanja i mogu pružiti lične podatke „skitnicama“ čvorovima u mreži. U pametnim mrežama podaci o potrošnji energije trebaju biti anonimizirani uzimajući u obzir podatke na nivou susjedstva, a ne na nivou pojedinca, štaviše, sistemi bi se mogli instalirati u domovima koristeći baterije za modificiranje signala odgovora na potražnju. Agregacija podataka je važan alat u očuvanju privatnosti pojedinca i prevenciji podataka curenje. Štaviše, podaci bi trebali biti šifrirani prilikom slanja preko mreže tako da se izbjegava svaki neovlašteni pristup. Druga strategija bi bila korištenje minimizacije podataka. Tipično, senzori koji se koriste u pametnim gradovima prikupljat će podatke od manjeg „interesa“ pored podataka od interesa. Na primjer, navigacijski sistemi mnogo puta snimaju informacije o lokaciji čak i kada nisu u upotrebi ili video aplikacije kao što su sistemi za prepoznavanje lica obično snimaju druge aktivnosti osim što se aktiviraju kad god se u videu primijeti lice. Ove dodatne informacije povećavaju rizik od curenja podataka. Minimizacija podataka se može koristiti u takvim slučajevima za ograničavanje podataka koji se prikupljaju o korisniku.

#### 5.10.2. Pouzdanost

Osim tehničkih koraka koje je potrebno poduzeti kako bi se osiguralo sigurno iskustvo korištenja aplikacija pametnog grada i da bi se podstaklo njihovo korištenje, važno je da su korisnici pametnog grada opskrbljeni jasnim politikama smjernica o tome kako im kompanije pružaju ove usluge upravljajući njihovim podacima. Transparentnost u ovom pogledu pomoći će povećanju povjerenja korisnika, a povratne informacije će omogućiti kompanijama da razviju bolje mehanizme privatnosti podataka. Drugi način za razvijanje povjerenja jeste da kompanije pružaju klijentima određene opcije u politikama, gdje bi mogli birati koje dijelove prikupljanja podataka je prihvatljivo za njih, a koje ne.

## 6. SWOT ANALIZA

U nastavku rada želim da uradim (SWOT) analizu upotrebe IoT-a za pametne gradove koja govori o prednostima koje IoT nudi za pametne gradove, slabosti u trenutnom scenariju implementacije, mogućnosti koji postoje za budući rad u ovoj oblasti kao i prijetnje koje IoT primjenjuje na pametne gradovi. Skraćeni rezime ovog poglavlja je prikazan u tabeli 4.

### 6.1. Snage

Urbani grad koji dobro funkcioniše i IKT infrastruktura predstavljaju obavezan dio koncepta pametnog grada, ali to nije dovoljan uslov da bi se smatrao pametnim gradom. Pametan grad je korak naprijed, zahtijeva integraciju i saradnju urbanog informacionog i upravljačkog sistema sa sljedećom generacijom IKT aplikacija, kao što je internet stvari, *cloud*

computing itd. Pametni grad je ekspanzija digitalnog i inteligentnog grada. Pametan grad ide naprijed kao „informacioni autoput“ koristeći daljinsku detekciju (*Remote sensing*), GIS i GPS za snimanje i sistematičnu konsolidaciju podataka i formiranje 3D funkcija za praćenje podataka i u skladu s tim donošenje odluka. Pametni grad iskorištava inteligentne informacije mreže za razmjenu informacija i resursa zasnovanih na IT platformi, kao što su inteligentni senzori, umjetna inteligencija i inteligentni sistem odlučivanja za efikasno funkcionisanje urbanog grada.

Tabela 4. SWOT Analiza za IoT u Smart gradovima

	Pozitivne strane	Negativne strane
<b>Interne</b>	<b>Snage</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Održivo življenje</li> <li>- Poboľšan kvalitet života</li> <li>- Efikasnije gradske operacije</li> <li>- Pogodan za big data algoritme</li> <li>- Skalabilnost aplikacija</li> <li>- Brzi odgovori u realnom vremenu zbog distribuirane IoT strukture</li> <li>- Smanjeni troškovi</li> <li>- Robusnost</li> <li>- Mogućnost povezivanja heterogenih sistema</li> </ul>	<b>Slabosti</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nedostatak politika kontrole podataka</li> <li>- Trebaju biti razvijeni zakoni</li> <li>- Interoperabilnost mreža</li> <li>- Nekompatibilni standardi za senzore</li> <li>- Bezbroy različitih aplikacijskih frameworka</li> </ul>
<b>Eksterne</b>	<b>Prilike</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Razvoj novih senzorskih tehnologija</li> <li>- Razvoj komunikacijskih šema male snage i velike brzine</li> <li>- Razvoj enkripcijskih tehnologija za pohranu i razmjenu podataka</li> <li>- Razvoj procesiranja podataka za tehnike očuvanja podataka</li> <li>- Razvoj novih gradskih servisa</li> <li>- Razvoj skalabilne i objašnjivanje umjetne inteligencije</li> </ul>	<b>Prijetnje</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Očuvanje povjerenja među korisnicima</li> <li>- Mrežni napadi</li> <li>- Krađa podataka</li> <li>- Curenje podataka</li> </ul>

Izvor: Autor završnog rada

Transformacija pametnog grada mora biti dobro definisana i sa realnim ciljevima u zavisnosti od specifičnih zahtjeva i dostupnosti resursa. Osim nekih specifičnih ciljeva, dugoročni ciljevi razvoja pametnog grada je promovisanje IoT platforme, *cloud computing*, informacionog sistem javnih usluga, promoviranje vlade usmjerene na građane, inteligentno upravljanje radom grada, pametne ekonomije i jakog tržišta i poslovne vrijednosti jačanje cjelokupnog planiranja grada. IKT je preobrazila ljudske aspekte razmišljanja, sveprisutni senzori i instrumenti, kontrola i optimizacija, umrežavanje i integracija usluga i bežična povezanost su konvergirali, te su učinili građane svjesnijim situacije i pametnijim nego ikad. Pametna IKT revolucija i tehnološki napredak su već postavili potrebnu osnovu za koncept pametnog grada iz sljedećih razloga.

- Prvo, razvoj četvrte i pete generacije mobilnih komunikacijskih tehnologija je već postavio tehničku osnovu posebnu za širokopoljasne aplikacije i visoke brzine



prijenosa informacija, što pak predstavlja geoprostorni temelj za razvoj pametnih gradova.

- Drugo, prikupljanje podataka, pristup, razmjena i prenos su lakši s uvođenjem IoT-a, koji omogućava identificiranje, lociranje, pozicioniranje i upravljanje mrežom prenošenjem i razmjenom informacija između „stvari“ definisanim protokolima preko senzora, radio frekvencijskih uređaja za identifikaciju (RFID) i GPS-a.
- Treće, *cloud computing* je način distribuiranog računarstva sa visokom efikasnošću obrade informacija, difuzija informacija olakšava korisnicima svakodnevni život i pristup javnim uslugama kao što su struja, plin, voda korištenjem servisa i infrastrukture informacione tehnologije, računarske platforme i softverskih modula.
- Na kraju, integracijska platforma informacionog sistema pruža fleksibilnost širokog spektra integracije podataka posebno integracije urbanog informacionog sistema za pristup geografskoj i demografskoj bazi podataka za pametni grad.

Za uspjeh svakog projekta ili inicijative, vlada ili zainteresovane strane u vlasti moraju biti na prvom mjestu, za razvoj pametnog grada. Vlade moraju preuzeti vodeću ulogu u promoviranju urbanog upravljanja i informacionog sistema. Vlada treba da motiviše sve građane, poslovne zajednice, javna i privatna preduzeća da uzmu aktivno učešće u procesu transformacije pametnog grada dijeljenjem informacije, razvojnih planova, okvira procesa i scenarija implementacije kako bi saradnja bila što veća. Orijentacija prema najsavremenijim tehnologijama kao što su IoT, oblak računarstvo, napredna obrada signala, detekcija (*sensing*) i instrumentacija, RFID i sveprisutna informaciona mreža, aplikacije kao što su platforma za daljinsko otkrivanje, GPS, GIS, usluge prostorno vremenskih podataka i urbani prostorni informacioni sistem otvaraju kapije pametnog grada. Integracija ovih najsavremenijih tehnologija i aplikacijskih platformi informacionih sistema je postavila potrebnu bazu kako bi iskoristila potpune informacije o geografskoj bazi podataka grada, demografskoj bazi podataka i makroekonomskoj bazi podataka za razvoj održivog grad koji može ispuniti buduće potrebe.

Prednosti IoT pametnog grada su činjenica da pružaju poboljšani kvalitet života za gradsko stanovništvo uz smanjenje troškova u smislu gradskih operacija te omogućavaju gradovima da budu održivi. IoT omogućava da se senzori i uređaji rasporede po cijelom gradu, kako bi dali pregled stanja glavnih funkcija grada kao što su transportni sistemi, distribucija električne energije, vode i plina, kao i praćenje kriminala. Ove informacije u realnom vremenu pomažu gradskoj upravi, preduzećima i drugim zainteresovanim stranama (stakeholderima) da obezbjede bolje usluge ljudima, povećanjem efikasnosti tih usluga i smanjenjem troškova kroz efikasan rad. S tehničke strane, IoT podaci su omogućili korištenje analitike podataka za mjerenje različiti aspekata vezanih za mnoštvo usluga koje se pružaju u gradu kako bi se utvrdile interakcije između njih i iskoristile te informacije za bolju odluku, olakšavajući život građanima. Nadalje, distribuirana priroda IoT sistema i fleksibilne arhitekture koje omogućavaju fluidnost kroz kretanje senzorskih jedinica, je vrlo skalabilna, što zahtijeva malo dodatnih troškova za trenutnu nadogradnju i proširenje raspoređenih sistema. Ova distribuirana arhitektura čini takve sisteme veoma otporne na

greške čime se povećava pouzdanost implementacije i nudeći aplikacije za samoizlječenje kao što su električni sistemi. Najvažnije prednosti primjene IoT rješenja u pametnim gradovima su:

Internet stvari se može modelirati kako bi se smanjili troškovi. Osnovni primjer povezanih uređaja je njihova upotreba u tvornici gdje su proizvodne jedinice povezane s jedinicama isporuke i prodaje. Ako određeni proizvod marke ne prolazi dobro na tržištu, mašina za brojač prodaje može upozoriti proizvodne jedinice da smanje ili naglo obustave proizvodnju ako je potrebno. Na ovaj način povezani uređaji mogu komunicirati kako bi značajno smanjili troškove. Ekološki prihvatljiv. Povezani uređaji se mogu modelirati tako da smanjuju emisije ugljika i time pomažu u zaštiti okoliša. Pametni automobili, pametna svjetla i pametne kuće ograničavaju potrošnju energije i posljedično smanjuju emisije. Nedavni izvještaji pokazuju da Internet stvari može ublažiti emisije za 19%. Inovacija. Inovacija je uspješno usmjerila tehnološku industriju prema sadašnjem vrhuncu. Era povezivanja uređaja za realizaciju pametnog ekosistema pruža neopisive mogućnosti. Ovakve situacije niču inovacije i ideje za promjenu paradigme. IoT i pametni gradovi su još uvijek u povojima, ali slobodno se može reći da se u bliskoj budućnosti mogu očekivati velike stvari. Javni interes i uzbuđenje. Divovi poput Applea, Microsofta, Amazona i Googlea već su u utrci da inteligentne uređaje učine dostupnim potrošačima. Sve veća medijska pažnja i ponavljajući naslovi o Internetu stvari i pametnim gradovima je upravo ono što je potrebno za sve veće prihvatanje ovog koncepta. Lakoća upotrebe: Ne treba poricati da svi želimo biti u mogućnosti kontrolisati uređaje oko nas jednim pokretanjem s jednog mjesta. Internet stvari će moći da poveže uređaje među sobom, omogućavajući im da komuniciraju. To smanjuje naš rad i poboljšava ukupni životni standard.

## **6.2. Slabosti**

Ljudski kapital je progresivni dio pokretačke snage pametnog grada, stoga učešće ljudskog kapitala treba da bude početak tačka, a ne slijepo vođenje da će IKT i tehnološki napredak transformisati i poboljšati gradove automatski. Pametan grad se može izgraditi na pametnoj kombinaciji usvajanja koncepta pametnog grada od strane građana i samo-modificirane aktivnosti situacijski svjesnih građana na put koji gleda u budućnost. Pametni građani pametnog grada nisu samo označeni nivoom obrazovne kvalifikacije već i nivoom društvenih interakcija izvan koncepta ličnog života, odnosno biti povezan s pitanjima vanjskog svijeta. Postojeći problemi urbanih gradova se mogu riješiti pametnim rješenjima pametnih građana putem svijesti građana, društvene uključenosti i učenja, obukom, razvojem vještina, kreativnost, fleksibilnost, otvorenosti, etničke i društvene pluralnosti i saradnjaom između zainteresovanih strana. Aktivno uključivanje vodećih organizacija je od suštinskog značaja za inicijative pametnog grada. S jedne strane, uspješne inicijative zahtijevaju menadžerske i organizacione inovacije koje se ne mogu postići bez međuresorne saradnje. S druge strane, upravljačka i organizaciona interoperabilnost je obećavajući dio inicijativa pametnih gradova koja zahtijeva dinamične leaderske vještine. Gotovo je nemoguće čak i pokrenuti koncept pametnog grada pojedinačno, bez identifikacije timskih

igrača jer čak i inicijative zahtijevaju međuresornu saradnju između različitih aktera, zajednica, organizacije i privrednih preduzeća, međuresornu koordinaciju i integraciju između vladinih sektora.

Jedna od glavnih briga o postojećim urbanim informacijskim sistemima je nedostatak različitih vrsta informacija iz različitih izvora za izradu visoke prostorne i vremenske analize. Nedostatak različitih vrsta informacija iz različitih izvora za visoku prostornu i vremensku analizu koči ažuriranja informacija u realnom vremenu i buduća predviđanja što utiče na mehanizam za podršku odlučivanju u realnom vremenu IoT u pametnim gradovima pati od određenih slabosti u pogledu tehnologije, npr. trenutni scenario implementacije ima bezbroj različitih tehnologija koje se odnose na mreže, hardverske platforme i softverski okviri koji često ne funkcionišu dobro zajedno. Tijela različitih standarda kao što je *Internet Engineering Task Force* (IETF), Evropski institut za telekomunikacijske standarde (ETSI), Institut za Inženjere elektrotehnike i elektronike (IEEE) i druge organizacije daju svoj doprinos sa standardima za komunikaciju, otkrivanje mreže, identifikaciju, upravljanje uređaja itd. Međutim, veliki broj „standarda“ pri čemu mnogi od njih nisu međusobno kompatibilni nisu u potpunosti riješili problem interoperabilnosti i to može uzrokovati prepreke za širenje IoT sistema bez značajnog remonta sistemskih komponenti. Drugi problem sa kojim se trenutno suočavaju IoT sistemi je nedostatak politika podataka i zakonodavstva. Ovdje je zabrinutost da politike podataka nisu dovoljno zrele da regulišu kako se podacima rukuje u IoT sistemima, kao što je već diskutovano. Ovo je veliki problem s obzirom na sve veći problem privatnosti podataka korisnika u povezanom svijetu.

Najvažnije slabosti primjene IoT rješenja u pametnim gradovima su:

Sigurnost. Najčešći nedostatak povezivanja uređaja je njihova sigurnost i način na koji je može ugroziti mala grupa hakera. Međutim, postoje pokušaji da se revitalizira sigurnost IoT uređaja i uspostavi zajednički standard za iste. Izazovi podataka. Svake godine proizvodimo podatke u egzobajtima. Ove podatke je potrebno pohraniti i analizirati kako bi se dobile informacije o određenim parametrima. Kada su svi uređaji povezani, količina prikupljenih podataka će se višestruko povećati. Prikupljanje, analiza i skladištenje svih tih podataka je težak zadatak i potrebna nam je bolja infrastruktura za upravljanje lavinom podataka koja nam je na putu. Ogromna ulaganja: Kompanije koje žele da postanu rani pokretači na IoT tržištu moraju uložiti mnogo novca da naprave povezane uređaje. Osim troškova proizvodnje, veliki trošak je povezan i sa istraživanjem i razvojem proizvoda. Ova visoka cijena mogla bi zastrašiti nove učesnike na tržištu. Kompanije moraju ostati spremne da ubiru prednosti takvih investicija tokom vremena. Nema mape puta. IoT je još uvijek u početnoj fazi. Ne postoji jasna mapa puta, što implicira da ne postoji određeni pravac u kojem se razvoj kreće. U takvom scenariju, tehnologija napreduje sa inovacijama kada se to dogodi. Kao potencijalni kupci, možemo pronaći 10 varijanti za 1 dodatak (gadget) ili možda nijednu za drugi. Ovakav razvoj zasnovan na potrebama nastaviti će se sve dok se prašina ne slegne i dok se ne uspostave određeni standardi za razvoj interneta stvari.

### 6.3. Prilike

Vlada kao jedna od ključnih komponenti za omogućavanje pametnog grada je odgovorna za pružanje učešća i usluga saradnja između različitih funkcionalnih sektora i zainteresovanih strana kao što su političke snage, poslovne zajednice, akademske, neprofitne i humanitarne organizacije, za efikasnije upravljanje resursima u cilju boljeg služenja građanima. Značajan udio takvog pristupa upravljanju je orijentisan prema građanima, vođen od strane građana, daje građanima pristup informacijama o idejama, vizijama, ciljevima, prioritetima i strateškim planovima pametnog grada i aktivno ih uključuje u donošenje odluka i javne/društvene usluge koje koriste E-vlada koncept. Vlada zasnovana na konceptu orijentacije prema građaninu treba da reguliše kako ekonomske rezultate tako i pametne život građana sa različitim aspektima kvaliteta života.

Korištenje inteligencije informacione tehnologije ne može biti jedini cilj pametnog grada, potrebna je integracija različitih resursa za razvoj održivog i grada pogodnog za život, koji ne samo da je inovativan u informacijama i upravljanja ali isto tako mora zadržati netaknutim ljudske interakcije i interese . Tokom gradnje održivog grada, stvaranje mogućnosti zapošljavanja, razvoj radne snage i preduzetništvo će dovesti do značajnog poboljšanja u produktivnosti, a takođe postavlja visok stepen ekonomske konkurentnost.

Senzori, kontroleri i računarski terminali su glavni izvor pribavljanja informacija pametnog grada kroz različite servisne platforme. Koordinacija i integracija ovih servisnih platformi izaziva veliku zabrinutost. Takođe, informacije pametanog grada sadrže veliku količinu strukturiranih (atmosferskih podaci kao što su temperatura, geografske koordinate i tako dalje) i nestrukturiranih podataka (slike, video i audio fajlovi), tako da skladištenje i upravljanje takvim ogromnim količinama podataka zahtijeva posebnu pažnju, jer loše upravljanje podacima može rezultirati pogrešnom interpretacijom podataka što može uticati na gradske informativne usluge veoma loše. Informacije o pametnom gradu se dobijaju iz različitih izvora, istovremeno mehanizmi posmatranja podataka, mehanizam obrade podataka i lokacijske informacije su različite, tako da pametni grad zahtijeva odgovarajuće rukovanje takvim heterogenim informacijskim sistemom sa više izvora za kontinuirano praćenje podataka i u cilju otkrivanja svih abnormalnih događaja dok se dešavaju.

IoT u pametnim gradovima pruža mnoge mogućnosti kako istraživačima tako i preduzećima kako u ublažavanja slabosti tako i u pružanju novih gradskih usluga. Podaci prikupljeni od senzora u IoT sistemima imaju potencijal da pruže holistički pregled gradskog stanja koje omogućava korištenje algoritama velikih podataka za razvoj novih aplikacija i usluge. Za istraživače u domenu analize podataka, ovi heterogeni podaci pružaju dobru priliku za razvoj novih algoritama nauke o podacima za isporuku usluga. Postoji velika novčana vrijednost za razvoj i korištenje jeftinih računarskih tehnika šifriranja, efikasnih metoda skladištenja podataka i tehnologija umrežavanja koje olakšavaju i pojeftinjuju implementaciju IoT-a. Razvoj novih senzorske tehnologije je još jedna prilika za istraživače u IoT-u za pametne gradove. Razvoj novijih, efikasnih, jeftinih senzora pomoglo bi stvaranju IoT usluga i omogućilo čak i širu upotrebu.

Neke od prilika za primjenu IoT rješenja u pametnim gradovima su:

Primjena u zdravstvu: Promjena paradigme na polje lične zdravstvene zaštite je agenda koja vodi revoluciju povezanih uređaja. Postoji nekoliko mogućnosti za programere da inoviraju i naprave rješenja koja će nam olakšati život. Nedavni razvoj kompleta za zdravlje i istraživačkog kompleta od strane Apple-a samo je korak naprijed u smjeru poboljšanja zdravstvene zaštite. Uz toliko ideja koje se s vremena na vrijeme pojavljuju i stanje trenutne tehnologije, sve je moguće. Kao potencijalni kupci, ovo je za nas dobitna situacija. Nosivi uređaji/dodaci. Pametni sat, pametno staklo i pametna tabla, svi oni nose oznaku „pametno“ sa sobom. Danas satovi mogu snimiti našu dnevnu aktivnost, našu rutinu vježbanja i još mnogo toga. Stižu pametne naočale kako bi sve oko nas učinile interaktivnim ili u hologramima. Upravljanje infrastrukturom. Sektor upravljanja infrastrukturom je još jedna oblast koja može maksimalno iskoristiti IoT. Nosive uređaje kao što su Google Glass i pametni satovi već su postavile kompanije za bušenje na moru i građevinske kompanije. Microsoftov Holo Lens 2 već ima značajnu ulogu u oblasti infrastrukture. Učiniti računare sveprisutnijim. Mooreov zakon kaže da se veličina računarskih mikroprocesora smanjuje za polovinu svakih 18 mjeseci. Ovo samo pokazuje da proizvođači mikroprocesora imaju za cilj da integrišu računare u naše živote na veoma fin način, tako da ih ne osećamo kao zasebne entitete. Nedavna poplava pametnih nosivih uređaja ima za cilj ostvarenje san da računarstvo bude potpuno sveprisutno među nama. Uzbudljive mogućnosti ulaganja: IoT sa sobom donosi niz potencijalnih mogućnosti ulaganja. IoT ima ogroman potencijal za ljude koji žele ulagati u kompanije za proizvodnju čipova, kompanije za izradu rješenja i još mnogo toga.

#### **6.4. Prijetnje**

Nedosljednost u međunarodnim, nacionalnim i regionalnim pravilima i propisima koji se odnose na ekonomsku politiku ne pomažu da se inicijative pametnih gradova podignu na viši nivo. Također, postoji nedostatak odgovarajuće sistematske metodologije i metrike za izvještavanje i provjeru povrata ulaganja. Kontekst politike je važan za razumijevanje inicijative pametnog grada, sastoji se od političkih i institucionalnih elemenata. Transformacija ka pametnom gradu zahtijeva sukob tehnoloških elemenata sa političkim i institucionalnim elementima. Sa političke dimenzije, historijski gledano, interakcije između privatnog i javnog sektora je prilično komplikovana. To se često primjećuje kada je u pitanju donošenje odluka, vlasništvo i odgovornosti su uveliko isprepleteni. U većini slučajeva to može ometati razvoj pametnog grada.

Ne postoji “univerzalno rješenje” koje bi osiguralo uspjeh grada na svom putu ka „pametnosti“, umjesto toga, potreban je skup transformacija koji će uzeti u obzir različite aspekte. Mnogi gradovi širom svijeta imaju pokrenutu inicijativu da postanu pametni gradovi, a svaki slučaj je drugačije. Svaka gradska vlast mora prilagoditi resurse i napore za poboljšanje kako bi se zadovoljile njene specifične potrebe. *Smart city* je nesumnjivo pokrenuo određena pitanja vezana za sigurnost informacija i povezanim rizikom u procesu

razvoja. Pitanja poput sigurnosti, skladištenja podataka, zaštićena obrada informacija, javne informacije o imovinskim pravima su važna pitanja koja se moraju sistemski rješavati. Ova pitanja moraju biti riješena kako bi se zagarantovalo pravo građana na sigurnost informacija. Kao što je već rečeno, lakše je ukloniti dijeljenje informacija i barijere u procesu razmjenjivanja za sve dionike ali to znači da će privatnost podataka i sigurnost informacija biti ugrožene u svakoj fazi omogućavajući neovlašteni pristupa podacima. IKT napredak, sajber zločini i tehnike šifriranja podataka predstavljaju izazov privatnosti podataka i sigurnost informacija. Prije masivne primjene senzora, sajber sigurnost mora biti podignuta na najviši nivo. Za upravljanje urbanim informacionim sistemom, obično različiti gradovi i organizacije usvajaju različite standarde i modele koji mogu stvoriti probleme interoperabilnosti. Sa povezanim sistemom, postoji nekoliko prijetnji koje dolaze s IoT za pametne gradove uključujući probleme povjerenja među korisnicima, zabrinutost za privatnost zbog mrežnih napada, potencijalna krađa podataka itd. Privatnost i sigurnost su najvažniji problemi IoT aplikacija, s takvim personaliziranim mehanizmom interakcije između ljudi i uređaja kao što je u slučaju pametnih gradova, rizici od kršenja privatnosti, krađe podataka i curenja podataka su visoki i ovo je stalna briga kako korisnika usluga tako i provajdera. Brojni napadi na *Smart City* sisteme su izložili ranjivost ove tehnologije na sajber napade, a takođe su pokazali i posljedice koje ona ima na stanovništvo. Tradicionalne sigurnosne procedure i metode kao što su provjera autentičnosti pristupa, usmjeravanje i umrežavanje možda neće biti dovoljne ili moguće u mnogim implementacijama IoT-a zbog IoT uređaja koji obično nemaju dovoljne računarske mogućnosti, to je pogoršalo zabrinutost za privatnost i sigurnost za IoT interesne strane. Ovo također može dovesti do nedostatka povjerenja kupaca za učestovanje u aplikacijama za pametne gradove.

Neke od prijetnji za primjenu IoT rješenja u pametnim gradovima su:

Ranjivost na hakere. Kada razmišljamo o hakerima, zamišljamo zaista inteligentne pojedince koji neumorno rade kako bi srušili npr. određenu web stranicu. Sada, sa povezanim uređajima, ovi hakeri će moći da kontrolišu naše pametne sijalice, garažu, satove, pa čak i odjeću! Ovaj otvoreni poziv hakerima da pokušaju kontrolirati svaki uređaj u blizini je ozbiljna prijetnja za IoT i stoji na putu korisnika da pređu na povezane uređaje. Neispunjavanje očekivanja ljudi. Klasičan primjer za donošenje ove tačke može biti konzolna igra Watchdogs. Igra je predstavljena na konferenciji kada je bila u ranoj fazi razvoja. Ljudi su polagali velike nade očekujući hakersku igru otvorenog svijeta. No, ono što je isporučeno nije ispunilo očekivanja, što ga čini prosječnim proizvodom. IoT je ovdje dostigao vrhunac svoje popularnosti. Ljudi imaju realne i prevelike nade od IoT-a. Ova pretjerana očekivanja predstavljaju prijetnju IoT-u ako proizvodi ne ispune očekivanja korisnika. Nedostatak potražnje zbog visoke cijene. Pametni satovi, naočale ili čak sijalice nisu jeftini. Pakovanje od 3 pametne sijalice je skoro šest puta skuplje od cijene običnih. Dobra stvar je što kompanije razvijaju povezane uređaje, ali oni neće biti od koristi ako ih ciljana publika ne može priuštiti. Velike prodajne cijene su vrlo velika prijetnja koja se nadvila nad IoT-om i njegovim rastom.

## 7. PRAKTIČNI PROJEKTI IMPLEMENTACIJE IOT U SMART CITY RJEŠENJIMA KOMPANIJE BH TELECOM

U ovom poglavlju ću predstaviti nekoliko praktičnih IoT pilot projekata koje je kompanija BH Telecom uradila tokom prošle i ove godine a u cilju praćenja svjetskih trendova, iznalaženja novih izvora prihoda i poboljšanja kvaliteta života. Radi se o BH Telecom rješenjima pametnog parkinga, pametne rasvjete, pametnog otpada i pametne punionice električnih vozila. Svi ovi projekti su urađeni u sklopu BH Smart LAB platforme kompanije BH Telecom.

### 7.1. BH Telecom

BH Telecom je najveći pružalac telekomunikacijskih usluga u Bosni i Hercegovini, u oblasti fiksne i mobilne telefonije, prenosa podataka i multimedijalnih usluga. BH Telecom kao mrežni operator posjeduje, održava, nadzire i eksploatiše pristupnu, core i servisnu mrežu i mrežu IT podrške (BSS/OSS).

*Slika 17. BH Smart Lab kompanije BH Telecoma*



Izvor: <https://www.bhtelecom.ba/bh-smart-lab/> (Pristupljeno: 15.03.2024).

Postojećim kapacitetima na direktnim linkovima omogućava svojim pretplatnicima uslugu međunarodne govorne telefonije. BH Telecom ima 20 direktnih veza sa ino-operatorima, direktne veze sa dva bosansko-hercegovačka operatora, Telekom Srbije i HT Mostar, preko kojih realizuje međunarodni telefonski saobraćaj. Za potrebe realizacije nacionalnog saobraćaja BH Telecom je interkonektovan sa dominantnim operatorima Telekom Srbije i HT Mostar, kao i sa 12 alternativnih operatora. Za potrebe pružanja Internet usluga, BH Telecom je obezbjedio međunarodne Internet kapacitete prema vodećim svjetskim Tier 1 nadprovajderima. Poslovna politika BH Telecoma na prvo mjesto stavlja kontinuirano reinvestiranje profita u savremene tehnologije, s ciljem stalnog podizanja kvaliteta postojećih i uvođenja novih usluga. Obzirom da se promjene na tržištu i u tehnologiji dešavaju svakodnevno, neophodno je neprestano ulaganje u nove tehnologije, proširenje i modernizaciju mrežnih resursa, marketing, znanja i sposobnosti zaposlenika.

## 7.2. Pametni parking

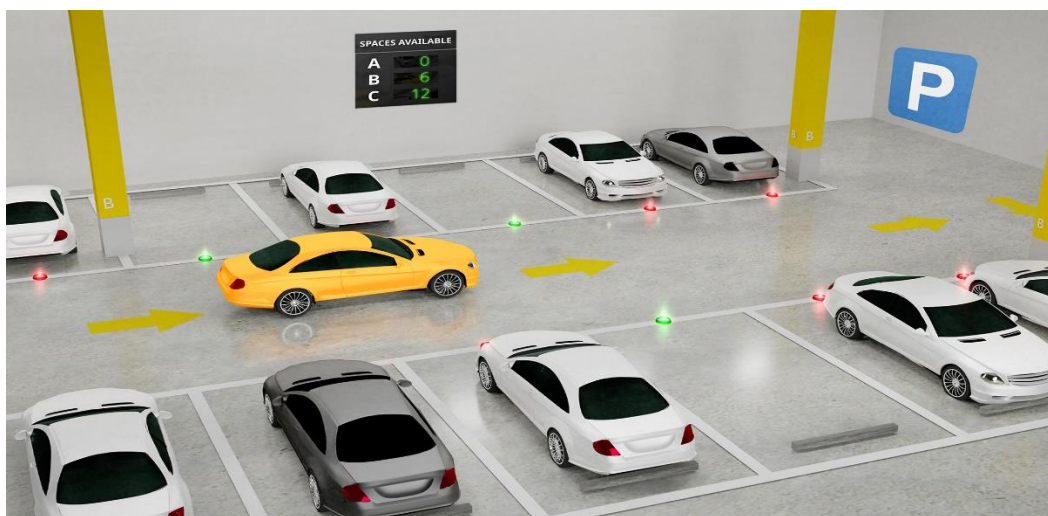
Osnovne funkcionalnosti BH Telecom rješenja:

- skeniranje umjesto ručnog unosa tablica, broja ticketa i sl.
- puna integracija info znakova, pristupnih i izlaznih rampi, individualnih i kolektivnih barijera, parkomata i platomata, automatsko očitavanje tablica
- beskontaktno korištenje i plaćanje parkinga gotovinom ili bezgotovinski
- nadzor i upravljanje kontrolorima i kontrolom naplate potpomognuto vještačkom inteligencijom

Benefiti za korisnike

- Prijedlog najbližeg slobodnog parking mjesta u realnom vremenu čak i po lošim vremenskim uslovima (kiša, magla ili snježne padavine)
- Puna integracija sa sistemima za navigaciju (Google Map, Apple Map) na mobilnim uređajima ili u automobilima opremljenim s CarPlay ili Android

*Slika 18. Pametni parking - rješenje BH Telecoma*



Izvor: <https://www.bhtelecom.ba/bh-smart-lab/> (Pristupljeno: 15.03.2024).

Pametni parking nije „pametan“ ako ne nudi cjelokupno rješenje

- povećava zadovoljstvo građana i kvalitet života
- smanjuje zagađenje zraka i razinu buke
- omogućava kompletan uvid u iskorištenost parking prostora, koji uz analitiku daje gradskim upravama izvrstan alat za planiranje
- smanjuje troškove održavanja gradske saobraćajne infrastrukture
- doprinosi smanjenju gužvi u gradskom saobraćaju i omogućava povećanje prihoda od parkinga
- bolje upravljanje gradskim parking površinama



### 7.3. Pametna rasvjeta

IoT rješenje koje se koristi kroz napredan nadzor, a njegovom primjenom smanjuje se potrošnja električne energije, optimizira se energetska učinkovitost, povećava se sigurnost te se smanjuju troškovi održavanja. BH Telecom pametna rasvjeta osigurava kontrolere na svakoj od lampi u sistemu javne rasvjete, što korisniku omogućava da putem aplikacije u potpunosti upravlja rasvjetom, po potrebi podešava snagu osvijetljenosti ovisno od vanjskih uslova, podešava algoritam paljenja i gašenja koji može samostalno pratiti pojavu dnevnog svjetla i sumraka kroz cijelu godinu, kao i automatsku detekciju kvarova i preuzimanje dijela osvijetljenosti od susjednih lampi, te analitičke alate za uvid o ostvarenom nivou uštede.

*Slika 19. Pametna rasvjeta - rješenje BH Telecoma*



Izvor: <https://www.bhtelecom.ba/bh-smart-lab/> (Pristupljeno: 15.03.2024).

#### Benefiti za korisnike

- smanjenje potrošnje el. energije u javnoj rasvjeti i uštede do 60%
- smanjenje troškova efikasnijim održavanjem (automatska obavještenja o kvarovima)
- efikasno daljinsko upravljanje javnom rasvjetom u realnom vremenu
- poboljšanje osvijetljenosti i vidljivosti za 200%
- povećanje sigurnosti građana kroz bolju osvijetljenost ulica
- sigurnije odvijanje saobraćaja zbog povećane vidljivosti
- mogućnost kontinuiranog napajanja u stubovima javne rasvjete
- smanjenje emisije CO2 i drugih štetnih plinova u okolinu
- mogućnost uvođenja novih pametnih rješenja za gradove i podizanje nivoa kvalitete života građana

## 7.4. Pametni otpad

IoT rješenje koje omogućava učinkovito korištenje resursa komunalnim preduzećima što rezultira uštedama energenata, vremena i novca. Pametni otpad uključuje korištenje pametnih kontejnera/kanti koje imaju ugrađene senzore, GPS odašiljač i SIM karticu pomoću kojih komunicira sa softverom za upravljanje, odnosno upravljačkom, mobilnom i kontrolnom aplikacijom. Senzori omogućavaju da se kante/kontejneri prazne ciljano – samo one koje su zaista pune, a vještačka inteligencija naše IoT platforme predlaže najkraći put kako bi se popunjeni kontejneri što efikasnije praznili.

Korištenjem pametnog otpada efikasnije se upravlja otpadom, štedi se gorivo, vrijeme i novac komunalnih službi, a krajnji korisnici su zadovoljni jer ne gledaju prepunjene kontejnere koji čekaju na neki svoj ustaljeni red pražnjenja. Osnovne funkcionalnosti BH Telecom rješenja:

- prikaz i administracija podataka o sakupljanju otpada
- prikaz i administracija podataka o popunjenosti kante/kontejneri za otpad
- automatsko planiranje ruta
- satelitsko praćenje kretanja komunalnih vozila
- optimizacija voznog parka
- kreiranje izvještaja
- komunikacija s vozačima
- interaktivna izmjena rute

*Slika 20. Pametni otpad - rješenje BH Telecoma*



Izvor: <https://www.bhtelecom.ba/bh-smart-lab/> (Pristupljeno: 15.03.2024).

## 7.5. Pametna punionica

Pametna punionica BH Telecoma pored osnovne funkcionalnosti – punjenja električnih vozila uključuje i sistem nadzora sa funkcijama rezervacije, pametni obračunski sistem, mogućnost plaćanja i putem aplikacije, pored standardne kartice. Putem aplikacije za pametni parking možete dobiti i informaciju da li na istom ima punionica, koje su slobodne, kada možete očekivati slobodno mjesto za punjenje, i rezervirati ga, te u skladu s tim planirati izbor i rezervaciju parkinga za vaše vozilo.

Pametna punionica je idealna prilika za vlasnike parkinga da pored iznajmljivanja parking prostora ostvari dodatnu vrijednost punjenjem električnih vozila. Mreža punionica se ubrzano razvija i izgradnja mreže punionica na autocestama i magistralnim cestama BiH omogućila bi povezivanje naše zemlje na već izgrađenu mrežu punionica koja postoji u Hrvatskoj i dalje u Evropi.

*Slika 21. Pametna punionica - rješenje BH Telecoma*



Izvor: <https://www.bhtelecom.ba/bh-smart-lab/> (Pristupljeno: 15.03.2024).

Osnovne funkcionalnosti BH Telecom rješenja:

- Sveobuhvatno rješenje bazirano na jedinstvenoj IoT platformi
- Svi servisi koje jedan pametni grad treba da ima smješteni su na IoT platform putem koje se njima upravlja
- Certificirani sistemi upravljanja u skladu sa najvišim standardima kao što su – ISO 27001 ISO 9100
- Certificirano osoblje koje može odgovoriti na sve zahtjeve za održavanje

## 8. ZAKLJUČAK

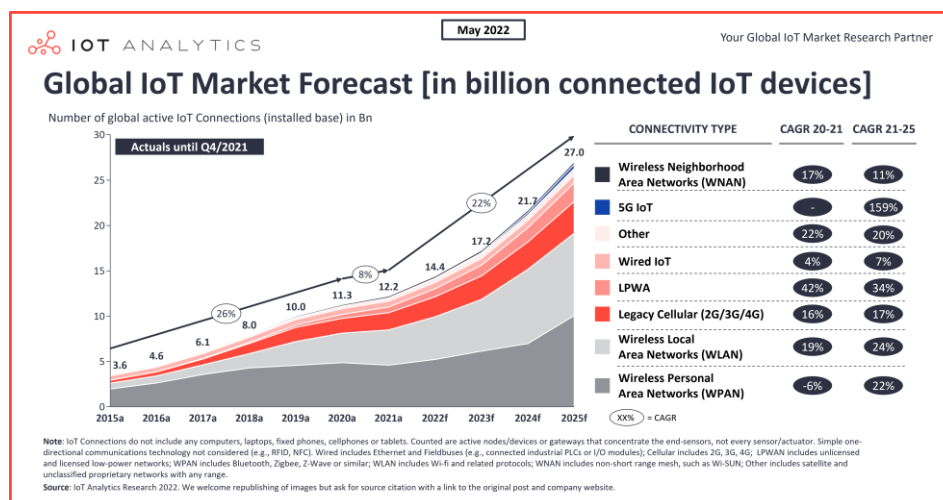
Ovaj rad je predstavio široku pokrivenost interneta stvari u pametnim gradovima. Obezbeđivanjem detaljne diskusije o pametnim gradovima i njihovim različitim domenima, predstavio sam internet stvari (IoT) kao vitalnog pokretača usluga pametnog grada i diskutovao o različitim arhitekturama pametnih gradova, senzorskim i mrežnim tehnologijama koje se koriste za takve aplikacije i kratko diskutovao o upotrebi AI u pametnim gradovima. Za svaku od aplikacija različitih komponenti o kojima sam raspravljao u radu, razmotrio sam tip razvoja na osnovu tehnologija i arhitektura kako bi se prikazao pregled trenutnog istraživanja scenarija pametnih gradova zasnovanih na IoT-u. Nakon toga je slijedio dio sa izazovima s kojima se susrećemo prilikom implementacije raznih aplikacija za pametne gradove, razmotrena su i pitanja sigurnosti i privatnosti sa kojima se IoT suočava u pametnim gradovima i prikazana SWOT analiza. Na osnovu svega što sam predstavio u radu a vezano za pojam interneta stvari i pametnog grada, niti u jednom momentu prilikom istraživačkog procesa o predmetnoj temi nisam naišao na bitniji faktora za kontekst pametnog grada i njegovih komponenti osim pojma interneta stvari. Bez interneta stvari, praktično je nemoguće prikupiti, prezentovati i upravljati podacima koje zahtijeva jedan pametni grad. Više desetina radova sam proveo analizirajući, neke od rezultata tih radova i istraživanja sam prikazao i ovdje u radu i na osnovu svih prikupljenih informacije mogu sasvim sigurno zaključiti da se pametni grad i sve ono što taj pojam uključuje u tehnološkom, socijalnom, društvenom, geografskom i drugim pogledu uključuje nije moguć bez interneta stvari. Sa ovako predstavljenim rezultatima istraživanjima, uzimajući u obzir brojne druge tehnologije koje egzistiraju, jasno je da za dostupnost ogromne količine podataka u realnom vremenu u svhu donošenja pravih odluka o funkcionisanju pametnog grada, nemoguće je zamisliti koncept pametnog grada bez primjene spomenutih IoT rješenja čime potvrđujem glavnu hipotezu ovog rada. Značajan dio rada je posvećen i temi IoT izazovima u implementaciji pametnih gradova sa posebnim fokusom na pitanja sigurnosti i privatnosti. IoT i pametni gradovi nude brojne mogućnosti za stanovnike gradova al samo sigurna primjena IoT rješenja koja će u osnovi imati fokus na zaštiti korisničkih informacija doprinosi boljem kvalitetu života u gradu odnosno boljem kvalitetu života njegovih stanovnika.

### 8.1. Buduće preporuke

Iz diskusije u ovom radu može se dati nekoliko sugestija kada koristiti IoT za projekte pametnih gradova. Jedno od područja istraživanja u dijelu rada koji govori o IoT izazovima je sigurnost i privatnost IoT-a u pametnim gradovima u smislu tehnika šifriranja, protokola za autentifikaciju, tehnika anonimizacije podataka i druge metode za sprječavanje nepotvrđenog pristupa Internetu stvari i pametnom gradu. Kao što je već spomenuto, tehnologije kao što je blockchain mogu pomoći u uvođenju pristupa praćenje i kontrole, sigurnog otkrivanja uređaja, sprječavanja lažiranja, gubitka podataka, osiguravajući da se koristi *end-to-end* enkripcija.

Od standarda za prijenos podataka koji su do sada razvijeni za IoT, većina nije kompatibilna jedna sa drugim. U tom smislu treba raditi kako bi se omogućila interkomunikacija senzorskih čvorova koji koriste različite protokole uz korištenje male snage, što je imperativ za senzorske čvorove u mreži. Druga oblast na kojoj treba raditi je razvoj efikasnih tehnika skladištenja i hardver za malim napajanje koji može smanjiti operativne troškove. Iz perspektive implementacije, decentralizovani sistemi su predloženi kao najbolja rešenja za povećanje pouzdanosti aplikacija. Tehnike kao što je udruženo učenje omogućavaju decentralizovan DL sistem raspoređivanja. Područje AI također ima veliki prostor za potencijalni rad. To uključuje razvoj tehnika fuzije podataka koje mogu učiniti korištenje heterogenih izvora podataka lakšim, inteligentnim metode redukcije podataka/odabir funkcija kako bi se osiguralo da suvišni ili „nezanimljivi“ podaci nisu dio razvoja umjetne inteligencije. Ovo će pomoći u bržem vrijeme odziva kao i poboljšanim performansama raspoređivanja. Potrebno je koristiti postojeće metode kao i nove koje treba istražiti kako bi ML i DL algoritme učinili razumljivijima različitim aplikacijama u pametnom gradu. Nedostatak čipova nastavlja da usporava oporavak tržišta interneta stvari (IoT), prema najnovijem izvještaju o stanju IoT-a— objavljenom u maju 2022. Broj globalnih IoT veza porastao je za 8% u 2021. godini na 12,2 milijarde aktivnih krajnjih tačaka, što predstavlja znatno niži rast nego prethodnih godina. Unatoč rastućoj potražnji za IoT rješenjima i pozitivnom raspoloženju u IoT zajednici, kao i na većini IoT krajnjih tržišta, IoT *Analytics* očekuje da će utjecaj nedostatka čipova na broj povezanih IoT uređaja potrajati i nakon 2023. godine. Drugi problemi za IoT tržišta uključuju tekuća pandemija COVID-19 i opći poremećaji u lancu opskrbe. Očekuje se da će 2022. tržište Interneta stvari porasti za 18% na 14,4 milijarde aktivnih veza. Očekuje se da će do 2025. godine, kako ograničenja ponude popuštaju i rast dalje ubrzava, postojati oko 27 milijardi povezanih IoT uređaja. Stvarne činjenice za 2021. godinu i trenutna prognoza za IoT uređaje za 2025. godinu su niže od prethodno procijenjenih. (Prethodna procjena za 2021. bila je 12,3 milijarde povezanih IoT uređaja; prethodna prognoza za 2025. bila je 27,1 milijarda povezanih IoT uređaja).

Slika 22. IoT Analytics – Globalna prognoza IoT tržišta



Izvor: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (Pristupljeno 14.02.2024).

## REFERENCE

1. Badis Hammi, Achraf Fayad, Rida Khatoun and Lyes Khoukhi (2018). IoT technologies for smart cities. *IET Research Journals*, pp. 1–14, Article.
2. Mora, L., Bolici, R., & Deakin, M. (2017). The First Two Decades of Smart-City Research: A Bibliometric Analysis. *Journal of Urban Technology*, 24(1), 3-27“.
3. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*.
4. Winkowska, J., & Szpilko, D., (2020). Methodology for Integration of Smart City Dimensions in the Socialised Process of Creating City Development. *European Research Studies Journal*, 13(3), 524-547.
5. Borgia, E., (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31.
6. Lynn, T., Endo, P., Ribeiro, A., Barbosa, G., & Rosati, P. (2020). The Internet of Things: Definitions, Key Concepts, and Reference Architectures. In T. Lynn, J. G. Mooney, B. Lee, P. Takako Endo (Eds.), *The Cloud-to- Thing Continuum* (pp. 1-22).
7. Kitchin, R., Cardullo, P., & Felicianantonio, C. D., (2018). Citizenship, *Justice and the Right to the Smart City*.
8. Gazis, V., Goertz, M., Huber, M., Leonardi, A., Mathioudakis, K., Wiesmaier, A., Zeiger, F. (2015). Short paper: Iot: Challenges, projects, architectures. *In Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), 2015 18th International Conference on*, pages 145–147. IEEE
9. Dameri, R. P., & Cocchia, A., (2011). *Smart City and Digital City: Twenty Years of Terminology Evolution*.
10. D’Amico, G., L’Abbate, P., Liao, W., Yigitcanlar, T., & Ioppolo, G., (2020). *Understanding Sensor Cities: Insights from Technology Giant Company Driven Smart Urbanism Practices*.
11. Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P., (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*.
12. Partridge, H. L., (2004). *Developing a human perspective to the digital divide in the „smart city“*.
13. Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R. A., Hayes, N. M., & Nelson, L. N., (2010). Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives. Cambridge, United States: *Forrester Research*.
14. Colin Harrison, Barbara Eckman, Rick Hamilton, Perry Hartswick, Jayant Kalagnanam, Jurij Paraszczak, PeterWilliams, (2010). Foundations for smarter cities, *IBM Journal of Research and Development*.
15. Abbas Shah Syed, Daniel Sierra-Sosa, Anup Kumar, Adel Elmaghraby, (2021). IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges. *Smart Cities 2021*.
16. Koubaa, A., Aldawood, A., Saeed, B., Hadid, A., Ahmed, M., Saad, A., Alkhouja, H., Ammar, A., Alkanhal, M., (2020). Smart palm: An IoT framework for Red palm Weevil early detection. *Agronomy*.

17. O'Grady, M.; Langton, D.; O'Hare, G., (2019). Edge computing: A tractable model for smart agriculture?. *Artif. Intell. Agric.*
18. Pardini, K.; Rodrigues, J.J.; Kozlov, S.A.; Kumar, N.; Furtado, V., (2019). IoT-based solid waste management solutions: A survey. *J. Sens. Actuator Netw.*
19. Shirazi, E., Jadid, S., (2018). Autonomous Self-healing in Smart Distribution Grids Using Multi Agent Systems. *IEEE Trans. Ind. Informatics.*
20. Andreão, R.V., Athayde, M., Boudy, J., Aguilar, P., de Araujo, I., Andrade, R., (2018). Raspcare: A Telemedicine Platform for the Treatment and Monitoring of Patients with Chronic Diseases. In *Assistive Technologies in Smart Cities. IntechOpen: London, UK.*
21. Keane, P.A., Topol, E.J., (2018). With an eye to AI and autonomous diagnosis. *NPJ Digit. Med.*
22. *Comité Européen de Normalisation, Energy Performance of Buildings*, (2012). Impact of Building Automation, Control, and Building Management. European Technical Standard EN 15232; CEN: Brussels, Belgium.
23. *European Parliament*, (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings, Directive 2010/31/EU, *The European Parliament and the Council of the European Union: Brussels, Belgium.*
24. *European Climate Foundation, Roadmap 2050 Project*. Dostupno na: <http://www.roadmap2050.eu/>.
25. Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., (2018). IIHub: An industrial internet-of-things hub toward smart manufacturing based on cyber-physical system. *IEEE Trans. Ind. Inform.*
26. Mihai T Lazarescu, (2013). Design of a wsn platform for long-term environmental monitoring for iot applications. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems.*
27. Zeydin Pala, Nihat Inanc, (2007). Smart parking applications using RFID technology. *RFID Eurasia*, p 1–3.
28. Marcus Handte, Stefan Foell, Stephan Wagner, Gerd Kortuem, Pedro José Marrón, (2016). An Internet-of-Things Enabled Connected Navigation System for Urban Bus Riders. *IEEE internet of things journal.*
29. Taoufik Yeferny, Sofian Hamad, (2020). Vehicular Ad-hoc Networks: Architecture, Applications and Challenges. *International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.20 No.2.
30. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Sustainable Development*, dostupno na: <https://sdgs.un.org/goals>, 2021;
31. Anthopoulos, L.G., Reddick, C.G., (2016). Understanding electronic government research and smart city: A framework and empirical evidence. *Inf. Polity.*
32. Lele, A., (2019). Internet of things (IoT). *Smart Innov. Syst. Technologies.*
33. Bar-Magen Numhauser, J. Fog, (2012). *Computing Introduction to a New Cloud Evolution*. Spain.
34. Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., Kong, J., Jue, J.P., (2019). All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey. *J. Syst. Archit.*

35. Morais, C.M., Sadok, D., Kelner, J., (2019). An IoT sensor and scenario survey for data researchers. *J. Braz. Comput. Soc.*
36. Yaqoob, I., Ahmed, E., Hashem, I.A.T., Ahmed, A.I.A., Gani, A., Imran, M., Guizani, M., (2017). Internet of things architecture: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges. *IEEE Wirel. Commun.*
37. Talari, S., Shafie-Khah, M., Siano, P., Loia, V., Tommasetti, A., Catalão, J.P., (2017). A review of smart cities based on the internet of things concept. *Energies*
38. De Souza, J.T., de Francisco, A.C., Piekarski, C.M., do Prado, G.F., (2019). Data mining and machine learning to promote smart cities: A systematic review from 2000 to 2018. *Sustainability*.
39. Varghese, R., Sharma, S., (2018). Affordable smart farming using IoT and machine learning. *Proceedings of the 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, India.
40. Guillén-Navarro, M.A., Martínez-España, R., López, B., Cecilia, J.M., (2021). A high-performance IoT solution to reduce frost damages in stone fruits. *Concurr. Comput. Pract. Exp.*
41. Tran, D.N., Phan, D.D., (2016). Human Activities Recognition in Android Smartphone Using Support Vector Machine. *In Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, ISMS*, Bangkok, Thailand.
42. Pirzada, P., White, N., Wilde, A., (2018). Sensors in smart homes for independent living of the elderly. In *Proceedings of the 5th International Multi-Topic ICT Conference: Technologies For Future Generations, IMTIC 2018—Proceedings*, Jamshoro, Pakistan.
43. Kim, G.Y., Shin, S.S., Kim, J.Y., Kim, H.G., (2018). Haptic Conversion Using Detected Sound Event in Home Monitoring System for the Hard-of-Hearing. In *Proceedings of the HAVE 2018—IEEE International Symposium on Haptic, Audio-Visual Environments and Games, Proceedings*, Dalian, China.
44. Adege, A.B., Lin, H.P., Tarekegn, G.B., Jeng, S.S., (2018). *Applying deep neural network (DNN) for robust indoor localization in multi-building environment*. *Appl. Sci.*
45. Alfred J Menezes, Paul C Van Oorschot, Scott A Vanstone, (1996). *Handbook of applied cryptography*. CRC press.
46. Rahman, A., Hossain, M.S., Alrajeh, N.A., Guizani, N., (2020). *B5G and Explainable Deep Learning Assisted Healthcare Vertical at the Edge: COVID-19 Perspective*. *IEEE Netw.*
47. Rizvi, S., Iii, J.P., Kurtz, A., Rizvi, M., (2018). *Securing the Internet of Things ( IoT ): A Security Taxonomy for IoT*. New York, NY, USA.
48. Ali, M., Abrishamchi, N., Abdullah, A.H., Cheok, A.D., Bielawski, K.S., (2017). *Side Channel Attacks on Smart Home Systems: A Short Overview*. Beijing, China.
49. Choi, J., Kim, Y., (2016). An improved LEA block encryption algorithm to prevent side-channel attack in the IoT system. *Asia Pacific Signal and Information Processing Association, Jeju, Korea*.
50. Al-Garadi, M., Mohamed, A., Al-Ali, A., Du, X., Guizani, M., (2018). *A survey of machine and deep learning methods for internet of things (IoT) security*. arXiv.