

Analiza bežičnih komunikacijskih tehnologija u području koncepta Interneta stvari

Čečura, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:759055>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA U
PODRUČJU KONCEPTA INTERNETA STVARI**

**THE ANALYSIS OF WIRELESS COMMUNICATION
TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF INTERNET OF THINGS
CONCEPT**

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Cvitić

Student: Nikolina Čečura
JMBAG: 0135254707

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 27. ožujka 2024.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Informacije i komunikacije**

ZAVRŠNI ZADATAK br.

Pristupnik: **Nikolina Čečura (0135254707)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza bežičnih komunikacijskih tehnologija u području koncepta Interneta stvari**

Opis zadatka:

Završnim radom potrebno je analizirati aktualne bežične komunikacijske tehnologije i pružiti pregled koncepta Internet stvari. Nadalje, u radu je potrebno istražiti i prikazati mogućnosti unaprjeđenja koncepta IoT korištenjem 5G bežične komunikacijske tehnologije te pružiti osvrt na otvorena pitanja i izazove u konceptu Interneta stvari sa različitih aspekata.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Ivan Cvitić

SAŽETAK

Razvoj bežičnih tehnologija, kao i mreže, dovodi do stalnih promjena u već postojećim tehnologijama. Također se otkrivaju nove mogućnosti koje neka tehnologija nosi sa sobom. Tako se i bežične komunikacijske tehnologije, kratkog i dugog dometa, implementiraju kroz koncept Interneta stvari. Završnim radom prikazano je koje su to bežične komunikacijske tehnologije kratkog i dugog dometa, na koji način funkcioniraju te kroz koje načine se implementiraju u koncept Interneta stvari. Također je prikazano kako poboljšanja i nove tehnologije, poput 5G mreže, utječu na već postojeće koncepte te koji su glavni izazovi kada su u pitanju bežične komunikacijske tehnologije u konceptu Interneta stvari.

Ključne riječi: bežične komunikacijske tehnologije; Internet stvari; 5G

SUMMARY

The development of wireless technologies, as well as networks, results in constant changes in already existing technologies. There is also a presence of the discovery of new possibilities which a certain technology brings. Through the concept of Internet of Things, in this way, wireless communication technologies, both of short and long range, are also being implemented in this final thesis. It is explained what exactly are the wireless communication technologies of short and long range, as well as in what ways they function along with explanation of the ways through which they are implemented in the concept of Internet of Things. What is also presented in this thesis is how improvements and new technologies, i. e. 5G network, affect already existing concepts. Finally, the main challenges regarding wireless communication technologies within the Internet of Things concept are shown in this research.

Keywords: wireless communication technology; Internet of Things; 5G

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Pregled bežičnih komunikacijskih tehnologija	3
2.1. Mreže kratkog dometa.....	4
2.1.1. Tehnologija radio frekvencijske identifikacije.....	5
2.1.2. Komunikacija unutar područja kratkog dometa.....	7
2.1.3. Bluetooth tehnologija prijenosa podataka.....	8
2.1.4. Bluetooth low energy tehnologija prijenosa podataka.....	10
2.1.5. Bežični komunikacijski protokol Z-wave.....	11
2.1.6. Globalni bežični protokol ZigBee.....	11
2.1.7. Bežična mrežna tehnologija Wi-Fi.....	13
2.2. Mreže dugog dometa.....	15
2.2.1. Mreža LPWAN tehnologije Sigfox.....	16
2.2.2. Tehnologija mreže dugog dometa LoRaWAN	17
2.2.3. Uskopojasni IoT.....	19
3. Pregled koncepta Interneta stvari.....	21
3.1. Arhitektura Interneta stvari	21
3.2. Implementacija koncepta Interneta stvari	22

3.2.1.	Pametni grad	22
3.2.2.	Pametno zdravstvo	23
3.2.3.	Pametne zgrade	24
3.2.4.	Pametna proizvodnja.....	25
3.2.5.	Pametni transport	26
4.	Unaprjeđenja koncepta Interneta stvari primjenom 5G tehnologije	27
5.	Pregled izazova i otvorenih pitanja u konceptu Interneta stvari	31
5.1.	Sigurnost i privatnost u konceptu Interneta stvari.....	31
5.2.	Interoperabilnost u konceptu Interneta stvari.....	32
5.3.	Regulatorna i pravna pitanja u konceptu Interneta stvari.....	33
5.4.	Izazovi pri implementaciji koncepta Interneta stvari	33
6.	Zaključak.....	35
	Literatura.....	36
	Popis slika	40
	Popis grafikona	40

1. Uvod

Bežična komunikacijska tehnologija predstavlja komunikaciju bez korištenja kabela i žica. Podrazumijeva prijenos informacija između pošiljatelja i primatelja koristeći radio, mikro ili infracrvene valove. Internet stvari predstavlja skup, odnosno mrežu pametnih uređaja, senzora, aktuatora koji prikupljaju podatke te ih putem mreže dijele, šalju na obradu i analizu te šalju informacije u stvarnom vremenu kada je to potrebno. Istraživanjem u okviru završnog rada bit će predstavljene bežične komunikacijske tehnologije, koncept Interneta stvari te njihova povezanost prilikom implementacije.

Završni rad sastoji se od šest poglavlja:

1. Uvod
2. Bežične komunikacijske tehnologije
3. Pregled koncepta Interneta stvari
4. Unaprjeđenja koncepta Interneta stvari primjenom 5G tehnologije
5. Pregled izazova i otvorenih pitanja u konceptu Interneta stvari
6. Zaključak

Drugim poglavljem definirane su bežične komunikacijske tehnologije te njihov princip rada. Također, podjela bežičnih komunikacijskih tehnologija na mreže kratkog dometa i mreže dugog dometa, kao i tehnologije koje se koriste u navedenim mrežama.

Treće poglavlje predstavlja koncept Interneta stvari. To uključuje četiri faze, odnosno sloja, Interneta stvari. Njima je prikazano kojim se redoslijedom odvijaju događaji, kojem sloju pripadaju senzori, aplikacije, uređaji te kroz koji sloj prolaze podaci na obradu, analizu te na samom kraju koji sloj je zadužen za komunikaciju sa krajnjim korisnicima. Također, trećim poglavljem bit će prikazano pet izvedbi Interneta stvari kroz pametni grad, pametno zdravstvo, pametne zgrade, pametnu proizvodnju te pametni transport.

Četvrto poglavlje definira 5G mrežnu tehnologiju, njene prednosti u odnosu na trenutnu 4G mrežu, kao i razlike prilikom implementacije te samog djelovanja koncepta Internet stvari između te dvije mrežne tehnologije.

Petim poglavljem predstavljeni su izazovi te otvorena pitanja kada je u pitanju koncept Interneta stvari, poput sigurnosti, privatnosti, pravnih regulativa. Također, navedeni su neki od izazova s kojima se svaki koncept susreće.

2. Pregled bežičnih komunikacijskih tehnologija

Bežična komunikacija predstavlja prijenos glasa i podataka bez korištenja kabela ili žica. Podaci, umjesto fizičke veze, putuju putem elektromagnetskih signala koji se emitiraju iz uređaja za slanje do posrednih i krajnjih korisničkih uređaja. Također, sustav bežičnih komunikacija koristi radiofrekvenciju, infracrvene te mikro valove, [1].

Radiofrekvencija je oblik elektromagnetskog prijenosa. Ima svojstvo prodiranja kroz objekte te putovanje na velike udaljenosti te se zato koristi u bežičnoj komunikaciji. Podaci se prenose elektromagnetskim valovima niskih frekvencija putem električnog vodiča i antene. Valna duljina, snaga odašiljača, kvaliteta prijammika te antena su faktori o kojima ovisi radiokomunikacija. Infracrveno zračenje se koristi za komunikaciju kratkog dometa. To je elektromagnetsko značenje s dužim valnim duljinama od vidljive svjetlosti. Podatkovni signali se prenose putem svjetlećih dioda ili lasera. Mikrovalovi se koriste u bežičnim komunikacijskim tehnologijama za komunikaciju na daljinu. Dvije su metode prijenosa podataka. Satelitska metoda prenosi podatke preko satelita, dok zemaljska metoda koristi dva mikrovalna tornja između kojih je osigurana jasna vidljivost, [2].

Obzirom da se povezivanje IoT koncepta na Internet temelji na bežičnoj komunikaciji, kao jedan od segmenata Interneta stvari ističe se bežična senzorska mreža – WSN (engl. *Wireless Sensor Network*) te bežična senzorska i aktuatoraska mreža – WSAN (engl. *Wireless Sensor and Actuator Network*), [3].

Bežična senzorska mreža sastoji se od senzorskih čvorova te ima najmanje energetske resursa za izvođenje procesa. Obzirom da se mreža senzora sastoji od bežične ad hoc mreže, to znači da svaki senzor podržava algoritam usmjeravanja s više skokova. Svaki od čvorova u senzorskoj mreži sadrže radio primopredajnik, mikrokontroler te izvor energije, tj bateriju. WSAN jest skupina senzora i aktuatora koji su povezani bežičnim medijem te obavljaju distribuirane zadatke očitavanja i djelovanja. Razlika između senzora i aktuatora je ta da senzori imaju nisku potrošnju te ograničene senzorske i bežične komunikacijske mogućnosti dok su aktuatori opremljeni boljim mogućnostima obrade, većim snagama prijenosa i duljim trajanjem baterije, [4].

2.1. Mreže kratkog dometa

Mreže kratkog dometa koriste bežičnu tehnologiju koja komunicira u rasponu od nekoliko centimetara do nekoliko stotina metara. Općenito se odnosi na komunikacijske udaljenosti na razini WPAN (engl. *Wireless personal area network*) i WLAN (engl. *Wireless local area network*), [3].

WPAN je bežična osobna mreža, točnije PAN (engl. *Personal area network*) u kojoj se nalaze uređaji koji su međusobno povezani te centrirani oko radnog prostora, a povezani bežičnim medijem. Domet WPAN-a ovisi o bežičnom usmjerivaču, ali je on uglavnom ograničen na manje područje poput ureda ili kuće pa se to smatra nedostatkom ove mreže, dok širok izbor uređaja, poput pametnih telefona, tableta i računala, čini prednost. WPAN mreža se može izgraditi poput bilo koje od bežičnih tehnologija kratkog dometa koje će biti objašnjene u nastavku. Također, jedan od spojenih uređaja na Internet može djelovati i kao pristupna točka te tako omogućiti pristup mreži za druge uređaje, [5].

WLAN jest bežična lokalna mreža koja omogućuje mrežnu povezanost više uređaja unutar lokaliziranog područja. Ovakva vrsta mreže koristi visokofrekventne valove za prijenos informacija i pristupnu točku – AP (engl. *Access point*). WLAN se poput WPAN-a može izgraditi pomoću bežičnih tehnologija kao što su Wi-Fi, Bluetooth ili mobilne mreže, [6].

Prednost WLAN mreže jest neograničen broj fizičkih priključaka, širok domet koji se može proširiti kao i nadogradnja samog WLAN-a novim verzijama usmjerivača. Nedostatak bi bila manja sigurnost u odnosu na žičane mreže te smetnje na fizičke prepreke, [7].

Neke od mreža kratkog dometa, koje će biti objašnjenje u nastavku, jesu [3]:

- RFID,
- NFC,
- Bluetooth,
- BLE,
- Z-Wave,
- ZigBee i
- Wi-Fi.

2.1.1. Tehnologija radio frekvencijske identifikacije

Tehnologija radio frekvencijske identifikacije (engl. *Radio-frequency identification*) RFID pripada AIDC tehnologiji (engl. *Automatic Identification and Data Capture*), odnosno tehnologiji za automatsku identifikaciju i prikupljanje podataka. Takva tehnologija podrazumijeva jednokratno označavanje proizvoda, pojmova i pojava. RFID tehnologija podrazumijeva mogućnost beskontaktno identifikacije, pohranu podataka u mikročipove te očitavanje u elektromagnetskom polju ili radio valovima te koristi tehniku frekvencijskih radiovalova za razmjenjivanje podataka. Obuhvaća nosioce informacije – tagove koji mogu biti aktivni ili pasivni. Aktivni tagovi koriste vlastito napajanje, tj. bateriju dok pasivni koriste energiju antena. Također, postoje i polu-pasivni tagovi kod kojih baterija pokreće strujni krug, a komunikaciju napaja RFID čitač, [8].

RFID sustav podrazumijeva antene za skeniranje, primopredajnike te transponder (elektronska RFID oznaka). Kombinacija antene za skeniranje i primopredajnika čini RFID čitač ili ispitivač koji može biti fiksni ili mobilni. Dakle, može biti prijenosan ili trajno spojen. Koristi radio valove, koji aktiviraju oznaku, za prijenos signala. Nakon aktivacije, oznaka šalje val natrag do antene gdje se prevodi u podatke, [9].

Transponder se nalazi u RFID oznaci. Veći domet čitanja imaju oznake s jačim izvorom napajanja. RFID oznake uglavnom sadrže manje od 2000 kB podataka, uključujući jedinstveni serijski broj. Raspon čitanja varira o vrsti oznake, vrsti čitača, RFID frekvenciji i smetnjama. Aktivne oznake imaju veći domet čitanja radi jačeg izvora napajanja. Također razlikujemo i pametne naljepnice koje imaju RFID oznaku ugrađenu u ljepljivu naljepnicu i sadrže crtični kod, [9].

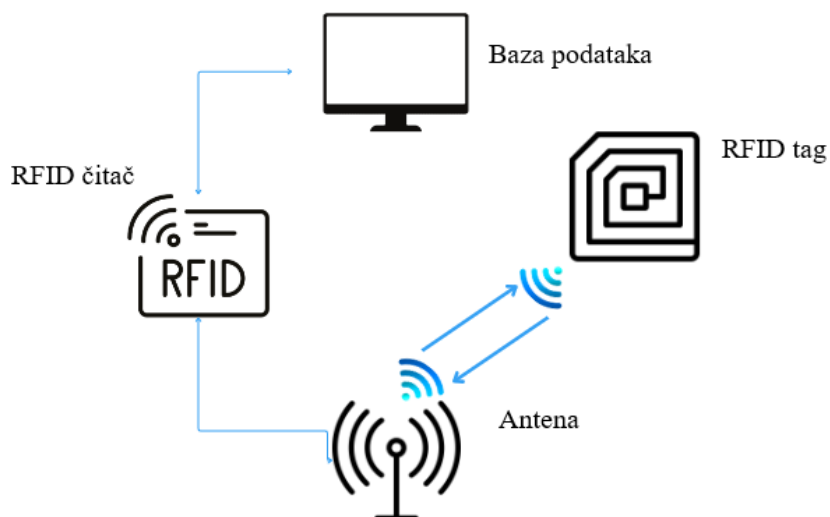
Vrste RFID sustava jesu [9]:

3. Niskofrekventni RFID sustavi – 30KHz do 500KHz,
4. Visokofrekventni RFID sustavi – 3MHz do 30 MHz,
5. Ultra visoko frekventni RFID sustavi – 300 MHz do 960 MHz i
6. Mikrovalni RFID sustavi – rade na 2,45GHz.

Niskofrekventni RFID sustavi imaju kratak domet, ali dobru otpornost na smetnje te se mogu koristiti za kontrolu pristupa i praćenje životinja. Visokofrekventni RFID sustavi imaju umjeren

domet te se najviše koriste za beskontaktno plaćanje. UHF RFID sustav ima dugi domet i velike brzine te je stoga pogodan za logistiku i upravljanje opskrbnim lancem. Mikrovalni RFID sustav ima vrlo dugi domet i veliku brzinu, ali je osjetljiv na smetnje. Pogodan je za napredno praćenje.

Kada je u pitanju sigurnost, RFID oznake nemaju veliku računsku snagu te stoga ne mogu prihvatiti enkripciju. Iznimka su RFID oznake koje se koriste u putovnicama, osnovna kontrola pristupa – BAC. Za izvođenje ključa na putovnici koriste se broj putovnice, datum rođenja vlasnika putovnice te datum isteka, zajedno sa znamenkom sume za svaku od informacija. Problem sigurnosti kod RFID-a jest taj da podatke sa RFID oznake može pročitati bilo tko s kompatibilnim čitačem. Također, kada je u pitanju privatnost pojedinca ako oznaka ima jedinstven serijski broj može se povezati s pojedincem, tj. osobom čija je putovnica, [9].



Slika 1 Kako RFID radi

Izvor [10]

RFID čitač je spojen na antenu te prima oznake s RFID taga. Čitač pretvara primljene valove u digitalne podatke u računalnoj bazi podataka. Antene su sastavni element RFID sustava obzirom

da se preko njih prenose podaci od taga do čitača. RFID tag ili oznaka pohranjuje i prenosi podatke koje treba dešifrirati. Oznaka sadrži mikročip koji pohranjuje ID oznake podatka koji se dalje putem antene šalje do čitača, [10].

2.1.2. Komunikacija unutar područja kratkog dometa

NFC (engl. *Near field communication*) je tehnologija koja omogućuje komunikaciju između kompatibilnih uređaja. Za prijenos signala podrazumijeva najmanje jedan odašiljač i jedan prijemnik. Princip rada je stvaranje induciranog polja između dvije antene kroz koje se šalju podaci, [8].

Razlikuju se aktivni i pasivni NFC uređaji. Aktivni uređaji mogu slati i primati podatke te komunicirati međusobno ili sa pasivnim uređajima. Pasivni uređaji podrazumijevaju male odašiljače koji šalju informacije drugim NFC uređajima bez potrebe za vlastitim izvorom energije. Pasivni uređaji ne obrađuju nikakve informacije i nemaju mogućnost povezivanja s drugim pasivnim komponentama. Također, razlikujemo dva tipa čipa od kojih je prijemnik pasivni, a predajnik aktivni, [11].

Princip rada NFC zasniva se na slanju informacija putem radio valova. NFC pripada bežičnom prijenosu podataka stoga se uređaji moraju pridržavati određenih specifikacija kako bi međusobna komunikacija bila ispravna. Tehnologija u NFC se temelji na RFID tehnologiji koja je, za prijenos informacija, koristila elektromagnetsku indukciju. NFC se, osim za slanje podataka, koristi za induciranje električne struje unutar pasivnih komponenti. Pasivni uređaji se mogu napajati elektromagnetskim poljem koje proizvode aktivne NFC komponente, međutim NFC tehnologija ne zahtijeva dovoljnu induktivnost za punjenje pametnih telefona, [11].

Za određivanje vrste informacija koje će se razmjenjivati, NFC razlikuje tri načina rada [11]:

- *Peer-to-peer* način – informacije se razmjenjuju između dva uređaja. Pri slanju podataka, oba uređaja se prebacuju između aktivnog načina dok se pri primanju podataka prebacuju između pasivnog.
- Način čitanja/pisanja – podrazumijeva jednosmjerni prijenos podataka. Aktivni uređaj povezuje se s drugim uređajem s kojeg čita informacije.
- Emulacija kartice – NFC uređaj funkcionira kao beskontaktna kreditna kartica te je moguće obavljati plaćanje i pristupiti sustavu javnog prijevoza.

2.1.3. Bluetooth tehnologija prijenosa podataka

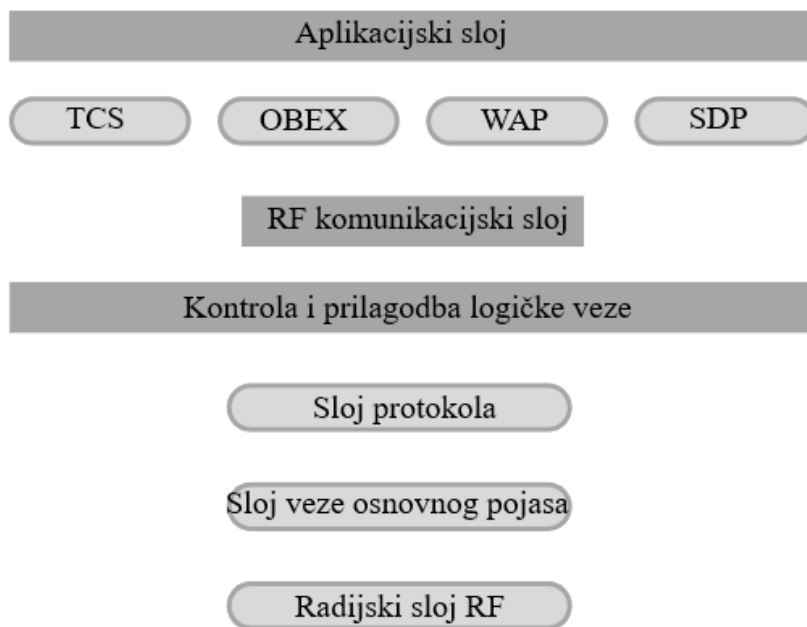
Bluetooth je tehnologija koja podrazumijeva glasovnu i podatkovnu komunikaciju kratkog dometa te se koristi za razmjenu podataka na malim udaljenostima. Pruža mogućnost spajanja do najviše 7 uređaja u isto vrijeme, dometa 10 metara. Omogućuje prijenos podataka 1-3 Mbps, a tehnika širenja koju koristi je FHSS (engl. *Frequency-hopping spread spectrum*). FHSS predstavlja ponavljano prebacivanje frekvencije nosača tijekom radio prijenosa radi izbjegavanja smetnji i presretanja, [12].

Bluetooth je izumio Ericsson 1994. Radi u nelicenciranom, industrijskom, znanstvenom i medicinskom pojasu od 2.4GHz. Prijenos i primanje podataka kod ove tehnologije vrši se putem radiovalova. Uparivanje je moguće s drugim uređajem koji ima Bluetooth, ali unutar dometa komunikacije za povezivanje. Kada dva uređaja započnu dijeljenje podataka, formira se mreža *piconet*, a dva i više takvih čine *scatternet*, [12].

Piconet je vrsta Bluetooth mreže koja sadrži osam aktivnih čvorova na udaljenosti od 10 metara. Jedan je glavni čvor te sedam aktivnih sekundarnih, koji se još nazivaju i podređeni čvorovi. Komunikacija između primarnog i sekundarnih čvorova može biti jedan na jedan ili jedan na više. Također, nije moguća kombinacija između dva ili više podređena čvora (podređeni na podređeni). Postoji još 255 sekundarnih parkiranih čvorova koji ne mogu sudjelovati u komunikaciji sve dok se ne pretvore u aktivno stanje, [12].

Scatternet, kao što je prethodno napisano, se formira korištenjem dva ili više *piconeta*. Podređeni čvor, koji je prisutan u jednom *piconetu*, može djelovati kao primarni u drugom *piconetu* ili kao master čvor u *scatternetu*. Takav čvor ima mogućnost primiti poruku od nadređenog čvora

u jednom *piconetu* te dostaviti poruku nekom svom podređenom čvoru drugog *piconeta*, gdje ima funkciju primarnog čvora. Takav čvor naziva se čvor mosta (engl. *bridge node*), [12].



Slika 2 Arhitektura Bluetooth tehnologije

Izvor: [12]

Radijski sloj (engl. *Radio layer*) podrazumijeva frekvenciju, korištenje frekvencijskog skakanja i snagu prijenosa. Obavlja modulaciju i demodulaciju podataka u RF signale. Definira veze bez veze i veze usmjerene na vezu, koje predstavljaju fizičke veze. Također definira karakteristike Bluetooth primopredajnika. Idući je sloj veze osnovnog pojasa (engl. *Baseband Link layer*) što predstavlja digitalni mehanizam Bluetooth tehnologije. Ekvivalentan je MAC podsloju LAN tehnologije. Podrazumijeva uspostavljanje veze unutar *piconetta*, adresiranje, kontrolu vremena i snage te format paketa. Sloj protokola (engl. *Link Manager protocol layer*) za zadaću ima provjeru autentičnosti i enkripcije postojećih veza, kao i stvaranje veza te njihov nadzor. Sloj protokola kontrole i prilagodbe logičke veze – L2CAP (engl. *Logical Link Control and Adaption*) predstavlja tzv. srce niza Bluetooth protokola. Zadaća mu je pakiranje paketa podataka primljenih s viših slojeva, a koji se šalju ka nižima. Također, omogućuje komunikaciju među slojevima te obavlja segmentaciju i multipleksiranje. Protokol za otkrivanje usluge – SDP (engl. *Service Discovery Protocol*) omogućuje otkrivanje usluga dostupnih na drugom Bluetooth uređaju. RF komunikacijski sloj (engl. *RF comm layer*) predstavlja protokol zamjene kabale. Omogućuje

serijsko sučelje s WAP i OBEX koji će biti objašnjeni u nastavku. Protokol se temelji na ETSI standardu TS 07.10. OBEX (engl. *Object Exchange*) čini komunikacijski protokol za razmjenu objekata između dva uređaja. WAP (engl. *Wireless Access Protocol*) je protokol koji se koristi za pristup internetu. Pretposljednji sloj je TCS (engl. *Telephony Control Protocol*) koji pruža usluge telefoniranja. Kontrolira pozive i grupno upravljanje više uređaja. Posljednji sloj je aplikacijski (engl. *Application layer*) koji korisniku omogućuje povezivanje s aplikacijom, [12].

Implementacija Bluetootha [12]:

- Slušalice u automobilu – moguće je telefonirati putem sustava zvučnika bez upotrebe mobilnog uređaja,
- Stereo slušalice – koriste se za slušanje glazbe u autu ili glazbenim uređajima(engl. *player*),
- Web kamera – moguće ju je povezati sa prijenosnim računalom ili mobilnim uređajem,
- Pisač s mogućnošću Bluetooth tehnologije – može se koristiti kada je povezan prijenosnim računalom ili mobilnim uređajem i
- Bluetooth sustav globalnog pozicioniranja (GPS) – može se koristiti za dohvata uputa za unesenu adresu odredišta tako da se mobilni uređaj putem Bluetootha poveže sa sustavom automobila.

Neke od prednosti ove tehnologije bi bile niska cijena i jednostavnost korištenja, stvaranje ad-hoc veze bez žica, korištenje za prijenos glasa i podataka, dok bi nedostaci bili mogućnost hakiranja te ujedno nedostatak sigurnosti, mala brzina prijenosa podataka te mala udaljenost, [12].

2.1.4. Bluetooth low energy tehnologija prijenosa podataka

BLE – *Bluetooth Low Energy* predstavlja tehnologiju kratkog dometa koji je od klasičnog Bluetootha veći deset puta, a latencija je 15 puta kraća. Snaga kojom BLE može raditi jest između 0,01 mW i 10 mW te je radi svojih karakteristika dobar tehnološki kandidat za IoT aplikacije. Korištenje ove tehnologije najboljom se pokazala u komunikaciji vozilo-vozilo. Kada je u pitanju potrošnja energije i omjer energije po prenesenom bitu, BLE je učinkovita tehnologija. Slojevi BLE tehnologije su fizički sloj, sloj multipleksiranja, protokol generičkih atributa - GATT (engl.

Generic Attribute Protocol) te generički pristup profilu – GAP (engl. *Generic Access Profile*), [13].

Fizički sloj šalje i prima bitove te pruža usluge sloja veze, uključuje i kontrolu toka i pogreške. Sloj multipleksiranja podrazumijeva L2CAP protokol koji osigurava sastavljanje podatkovnih kanala. Protokol generičkih atributa - GATT omogućuje prikupljanje podataka sa senzora, dok generički pristup profilu - GAP upravlja aplikacijom. U BLE tehnologiji, uređaji mogu raditi u zvjezdastoj topologiji ili kao glavni ili kao podređeni elementi. Za detekciju kanala, podređeni šalju oglase putem kanala koje glavni skenira kako bi se otkrili, [13].

2.1.5. Bežični komunikacijski protokol Z-wave

Z-wave je bežični komunikacijski protokol poznat po kućnoj automatizaciji. Kako je protokol bežične komunikacije skup pravila ili standarda koje treba pratiti, tako ovaj Z-wave protokol omogućuje više bežičnih uređaja koji međusobno komuniciraju s pametnim produktima na pouzdan način. Z-wave protokol podrazumijeva komuniciranje uređaja ili čvora s drugim najbližim čvorom koji prosljeđuje poruku idućem čvoru sve dok ona ne stigne do odredišta, [14].

Djelovanje Z-wave je pod arhitekturom prenapućenosti izvora. To podrazumijeva da jedan čvor treba komunicirati s drugim čvorom, no ukoliko nije izravno dostupan, komunicira s drugim najbližim čvorom koji dalje prosljeđuje poruku sve dok onda ne stigne na odredište, i obrnuto. Čvorovi se dodaju u *mesh* mrežu nekom metodom te se istom metodom i uklanjaju. Ova tehnologija ne može spojiti više uređaja u cjelini te je stoga broj uređaja i skokova ograničen. Također, u usporedbi sa Zigbee tehnologijom, ima sporije protokole. Z-wave koristi AES algoritam šifriranja (engl. *Advanced Encryption Algorithm*) koji šifrira odlazne i dolazne poruke. Zbog toga, Z-wave podržava *end-to-end* enkripciju, [14].

2.1.6. Globalni bežični protokol ZigBee

ZigBee je globalni protokol temeljen na paketima te dizajniran tako da pruža arhitekturu jednostavnu za korištenje. Također pruža pouzdane bežične mreže niske potrošnje. Karakterizira ga fleksibilno postavljanje opreme. Preciznije, oprema za kontrolu protoka i procesa može biti postavljena na bilo koje mjesto bez narušavanja komunikacije s ostatkom sustava. Također može se i premješati obzirom da mreža nije ovisna o fizičkoj lokaciji senzora. Važno je spomenuti kako je ZigBee tehnologija kućnog umrežavanja te služi kontroli i očitavanju mreže, [15].

ZigBee uređaji koje razlikujemo jesu [15]:

- ZigBee koordinatorski uređaj koristi se za komunikaciju s usmjerivačima te povezivanje uređaja,
- ZigBee usmjerivač koristi se za prijenos podataka između uređaja i
- ZigBee krajnji uređaj predstavlja uređaj kojim će se upravljati.

Značajke ZigBee tehnologije [15]:

- Stohastičko adresiranje – uređaju se dodjeljuje nasumična adresa i najavljuje se, mehanizam za rješavanje sukoba adresa, roditeljski čvor ne treba održavati dodijeljenu tablicu adresa,
- Upravljanje vezama – svaki čvor održava kvalitetu veze sa susjedima,
- Frekvencijska agilnost – čvorovi koji doživljavaju smetnje izvješćuju upravitelja kanala koji odabire drugi kanal,
- Asimetrična veza – svaki čvor ima različitu snagu prijenosa i osjetljivost, staze mogu biti asimetrične i
- Upravljanje napajanjem – usmjerivači i koordinatori koriste glavno napajanje, krajnji uređaji koriste baterije.

Topologija ZigBee tehnologije [15]:

- Zvezdana topologija (engl. *Star Topology*) – sastoji se od koordinatora i nekoliko krajnjih uređaja.
- Mesh topologija (engl. *Mesh Topology*) – sastoji se od jednog koordinatora, nekoliko usmjerivača i krajnjih uređaja i
- Topologija stabla (engl. *Tree Topology*) – sastoji se od jednog koordinatora, nekoliko usmjerivača i krajnjih uređaja, cilj usmjerivača je proširiti mrežnu pokrivenost.

Fizički sloj čini najniži sloj arhitekture ZigBee tehnologije i definiran je specifikacijama IEE 802.15.4. Najbliži je hardveru i izravno komunicira s radiom ZigBee. Prevodi pakete podataka u bitove bežične veze za prijenos i obrnuto. Sloj kontrole pristupa mediju je odgovoran za sučelje između fizičkog i mrežnog sloja te za pružanje PAN ID i otkrivanje mreže. Mrežni sloj djeluje kao sučelje između MAC i aplikacijskog sloja te je odgovoran za *mesh* umrežavanje. Aplikacijski sloj je najviši sloj arhitekture ZigBee tehnologije te se sastoji od podsloja podrške aplikaciji ZigBee uređaja i sadrži aplikacije koje je definirao proizvođač, [15].



Slika 3 Arhitektura ZigBee tehnologije

Izvor: [15]

2.1.7. Bežična mrežna tehnologija Wi-Fi

Wi-Fi ili bežična mrežna tehnologija (engl. *Wireless Fidelity*) omogućuje uređajima poput prijenosnih i stolnih računala, mobitela te ostale opreme povezivanje s internetom. Podrazumijeva mogućnost uređaja da međusobno razmjenjuju informacije, čime stvaraju mrežu, [16].

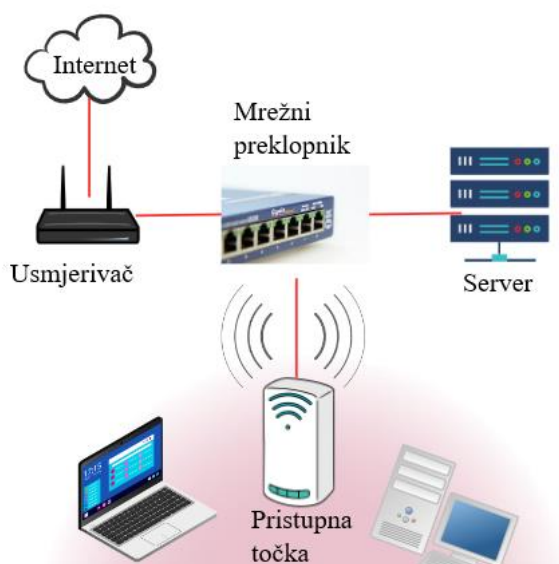
Princip rada se sastoji od radio valova koje Wi-Fi koristi za slanje informacija s i na uređaj. Zatim podatke primljene žičanom vezom pristupna točka ili bežični usmjerivač pretvara u radio valove te ih šalje. Te radio valove prijamnik, npr. mobilni uređaj, pretvara u podatke pogodne za

čitanje. Dakle, to je proces u kojem pristupna točka ili bežični usmjerivač te prijamnik kontinuirano razmjenjuju podatke, [17].

Wi – Fi kompatibilni uređaji se s internetom povezuju putem WLAN mreže i pristupne točke – AP. Bežični LAN određen je IEEE 802.11 specifikacijama koje pokrivaju fizičke i slojeve podatkovne veze. Pristupna točka je bazna stanica koja omogućava spajanje jednog ili više uređaja istovremeno na internet. Arhitektura ovog standarda ima dvije vrste usluga, to su BSS i ESS, [18]

Osnovni servisni set - BSS (engl. *Basic Service Set*) predstavlja osnovni građevni blok WLAN-a. Sastoji se od bežičnih mobilnih stanica te središnje pristupne točke. Pristupna točka predstavlja bežičnu LAN baznu stanicu kojoj je omogućeno spajanje jednog ili više bežičnih uređaja istovremeno na internet. Bežične mobilne stanice mogu formirati mrežu i bez pristupne točke i tada je riječ o ad-hoc mreži ili neovisni BSS - IBSS (engl. *Independent BSS*). Slanje podataka drugim BSS-ovima te formiranje samostalne mreže, BSS može isključivo uz pristupne točke i tada je riječ o infrastrukturnoj mreži, [18].

Prošireni servisni set – ESS (engl. *Extended Service Set*) se sastoji od dva ili više BSS-a sa pripadajućim pristupnim točkama koje spajaju BSS sa distribucijskim sustavom kao što je npr. Ethernet. ESS razlikuje mobilne stanice unutar BSS-a i stacionarne stanice pristupne točke koje su dio LAN-a.



Slika 4 Arhitektura Wi-Fi mreže

Izvor: [19]

Wi-Fi pristupna točka stvara se instaliranjem pristupne točke i povezivanjem s Internet vezom putem propusnosti. Takva pristupna točka djeluje kao bazna stanica. Kada uređaj s Wi-Fi mrežom naiđe na pristupnu točku tada se on bežično povezuje s tom mrežom. Više pristupnih točki se može povezati putem Ethernet kabela kako bi se stvorila jedna velika mreža, [19].

Značajke Wi – Fi tehnologije [18]:

- Bežična povezivost – uređaji se povezuju na mrežu bez potrebe fizičkih kabela,
- Velika brzina – brži pristup internetu te preuzimanje i učitavanje podataka,
- Jednostavno postavljanje – lako za konfigurirati, uglavnom je Wi- Fi veza integrirana u uređaje,
- Povezivost više uređaja – omogućeno je korištenje interneta za više od jednog uređaja istovremeno,
- Sigurnost – mreža se osigurava pomoću enkripcije i drugih sigurnosnih mjera,
- Domet – ovisi o vrsti usmjerivača,
- Kompatibilnost – široko je prihvaćena tehnologija sa velikim rasponom uređaja koji je koriste,
- Smetnje – Wi – Fi tehnologija može biti ometana drugim bežičnim uređajima ili fizičkim preprekama, kao npr. zgrade, što utječe na performanse mreže i
- Pouzdanost – Wi – Fi mreža poradi zagušenja i većih smetnji ponekad pati od gubitka signala.

Wi-Fi tehnologija nudi brojne prednosti poput jednostavnog pristupa internetu te povezivanja bez korištenja kabela što krajnjim korisnicima olakšava korištenje. Podržava više uređaja istovremeno te osigurava sigurnost pomoću enkripcije. Međutim, domet katkad može biti ograničen ovisno o vrsti usmjerivača koji se koristi te tehnologija može biti ometana smetnjama drugih uređaja ili fizičkih prepreka što može utjecati na gubitak signala. Uz korištenje optimalnih performansi, Wi-Fi je učinkovita tehnologija povezivanja.

2.2. Mreže dugog dometa

Mreže dugog dometa su skup bežičnih tehnologija koje imaju mogućnost prijenosa poruka do nekoliko desetaka kilometara, što podrazumijeva da pokriva velika područja. Pripadaju mrežama širokog područja male snage – LPWAN (engl. *Low Power Wide Area Network*), [3].

LPWAN tehnologija podrazumijeva tehnologiju bežičnog prijenosa na velike udaljenosti uz iskorištenje malog kapaciteta prijenosa te je primjenjivo u konceptu Interneta stvari obzirom na ograničeno korištenje baterije te kapaciteta prijenosa. Kada su u pitanju ruralna područja, pokrivenost djelovanja je 10 – 40 km dok je za urbana područja to 1 – 5 km, [8].

Mrežni elementi korišteni pri izvođenju LPWAN tehnologije jesu [8]:

- Senzor,
- Pristupnik (engl. *gateway*) ili bazna stanica,
- Mrežni ili podatkovni poslužitelj i
- Aplikacijski poslužitelj

Senzor podrazumijeva krajnji uređaj koji detektira događaj od interesa. Pristupnik ili bazna stanica vrši konvertiranje prometa između pristupne i jezgrene mreže. Mrežni ili podatkovni poslužitelji podrazumijevaju pohranu podataka, dok aplikacijski poslužitelji služe korištenju Interneta stvari, [8].

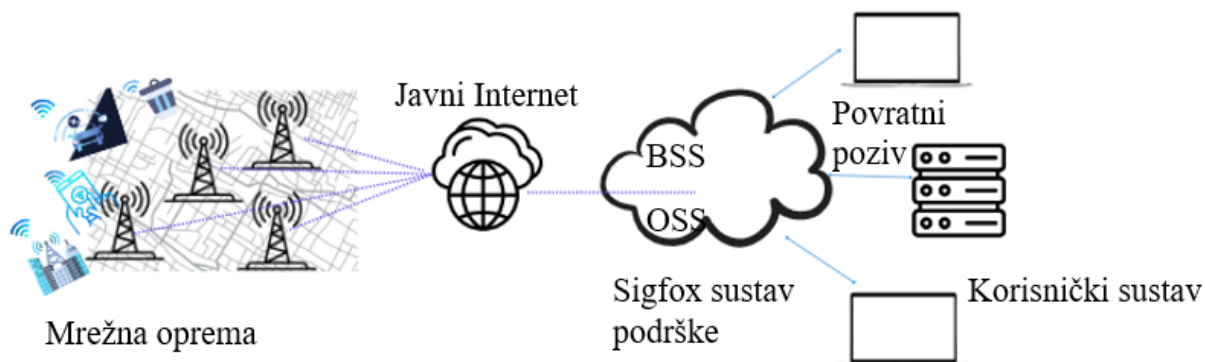
Značajne mreže dugog dometa, koje će biti objašnjenje u nastavku, jesu:

- Sigfox,
- LoRaWAN i
- NB-IoT

2.2.1. Mreža LPWAN tehnologije Sigfox

Sigfox mreža pripada LPWAN tehnologiji te je globalno objedinjena mreža što podrazumijeva da se svako rješenje u konceptu Interneta stvari može implementirati na globalnoj razini. Sigfox pruža bazne stanice i cloud uslugu te podrazumijeva mogućnost pružanja usluge u svakoj zemlji u kojoj ima ugovor s operaterom, [20].

Princip rada Sigfox uređaja je slanje maksimalno 12 bajtova podataka, što se naziva porukom. Takav postupak ponavlja se tri puta, mijenjajući svoju frekvenciju. Sigfox uređaj komunicira sa svim baznim stanicama prijamnika, a pohranjuje se u Sigfox cloud kao jedan podatak. Još jedna značajka karakteristična za Sigfox je ultra uskopojasna učinkovitost (engl. *Ultra Narrowband Efficiency*), [20].



Slika 5 Arhitektura Sigfox tehnologije

Izvor: [21]

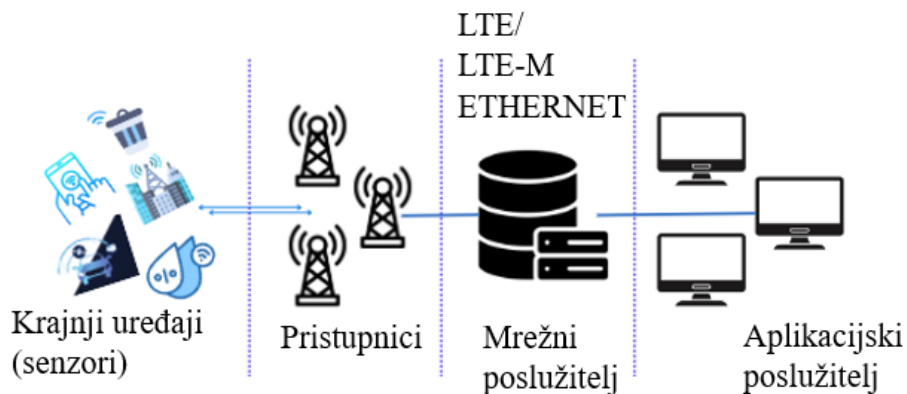
Arhitektura Sigfox tehnologije ima dva sloja, a karakterizira se kao horizontalna i tanka. Prvi sloj čini mrežna oprema poput baznih stanica. Ovaj sloj služi za zaprimanje poruka od IoT uređaja i njihovo slanje Sigfox sustavima podrške. Topologija prvog sloja jest topologija zvijezde s jednim skokom. Drugi sloj čini Sigfox sustav podrške gdje se zaprimljene poruke iz prvog sloja, s baznih stanica, obrađuju i šalju korisničkom sustavu putem povratnih poziva. Kada se dogodi određeni događaj na Sigfox oblaku, povratni poziv je usluga koja automatski prosljeđuje podatke uređaja određenom poslužitelju. Ovaj sloj ima alate za analizu podataka te module koji omogućavaju nadzor i rad mreže te alate za analizu podataka prikupljenih od strane mreže. BSS (engl. *Business Support System*) podrazumijeva sustav za naplatu i naručivanje. Dva sloja su povezana javnim internetom preko sigurnih VPN veza, [21].

2.2.2. Tehnologija mreže dugog dometa LoRaWAN

Arhitektura LoRaWAN tehnologije implementirana je u topologiji zvijezda od zvijezda (engl. *star-of-stars*). Pristupnici prenose poruke između krajnjih uređaja i mrežnog poslužitelja. Povezani su IP vezama i pretvaraju RF pakete u IP pakete i obrnuto. Dopuštena je veza s jednim skokom

između pristupnika i krajnjeg uređaja. Kod LoRaWAN tehnologije riječ je o dvosmjernoj komunikaciji uz mogućnosti *multicast* adresiranja, [22].

LoRaWAN tehnologiju karakteriziraju ultra niska snaga, dugi domet, duboko prodiranje u zatvorene prostore, veliki kapacitet, javna i privatna implementacija, ažuriranja na daljinu, *end-to-end* sigurnost, niska cijena te ekosustav. Ultra niska snaga predstavlja krajnje LoRaWAN uređaje koji rade u načinu niske potrošnje te im je vijek trajanja i do deset godina. Dugi domet ove tehnologije znači mogućnost odašiljanja i primanja signala do tri kilometra u urbanim područjima te do deset kilometara u ruralnim. Nadalje, LoRaWAN mreže lako pokrivaju zgrade s više katova te njihovi mrežni poslužitelji rade s tisućama pristupnika. I javna i privatna LoRaWAN mreža koristi isti osnovni hardver što implementaciju čini jednostavnijom. Također jedna od prednosti je i mogućnost ažuriranja na daljinu za krajnje uređaje. Obzirom na minimalnu infrastrukturu, jeftine čvorove i softver otvorenog koda, ovu tehnologiju karakterizira niska cijena potrošnje. LoRaWAN tehnologija je dio brzorastućeg ekosustava. Ekosustav obuhvaća uređaje, pristupnike, antene te pružatelje mrežnih usluga. Kada je u pitanju sigurnost, LoRaWAN komunikacija je osigurana AES-128 enkripcijom, [23].



Slika 6 Arhitektura LoRaWAN mreže

Izvor: [24]

Arhitektura LoRaWAN mreže podrazumijeva krajnje uređaje, točnije senzore, na prvom mjestu, koji šalju LoRa modularane bežične poruke. Također mogu primiti poruke s pristupnika.

Pristupnici nakon što zaprimaju poruke od krajnjih uređaja iste šalju mrežnom poslužitelju. Mrežni poslužitelj jest dio softvera koji radi na poslužitelju. LTE, LTE – M i Ethernet predstavljaju bežičnu, odnosno žičnu mrežnu tehnologiju za komunikaciju. Zadnji segment jesu aplikacijski poslužitelji koji čine dio softvera zaduženog za sigurnu obradu podataka aplikacije. Također, postoje i poslužitelji za pridruživanje koji čine dio softvera za obradu podataka od krajnjih uređaja koji zahtijevaju pridruživanje, [24].

2.2.3. Uskopojasni IoT

Uskopojasni IoT – NB-IoT (engl. *Narrowband IoT*) temelji se na 3GPP (engl. *3rd Generation Partnership Project*) standardima. Koristi se za uređaje visoke gustoće veze za slanje i primanje male količine podataka. Također, koristi se za unutarnje prostore te se napaja pomoću rezervnih baterija s dugim vijekom trajanja, [25].

NB-IoT na raspolaganju ima propusnost od 200 KHz od kojih se 10 KHz sa svake strane koristi za zaštitni pojas. Prema 3GPP specifikacijama, tri su scenarija upotrebe [25]:

1. Samostalni način rada (engl. *Standalone mode*) kod kojeg se korišteni frekvencijski pojasevi ponovno obrađuju ili se neiskorišteni pojasevi iskorištavaju za NB-IoT ukoliko se ne koriste za druge tehnologije. Zaštitna traka se postavlja za izbjegavanje smetnji, a duljina zaštitnog pojasa ovisi o susjednoj tehnologiji i frekvenciji, ako se radi o GSM TCH, GSM BCCH, WCDMA ili LTE,
2. Sigurnosni (zaštitni) pojas (engl. *Guard-Band*) kod kojeg za svaku širinu pojasa LTE ima različit zaštitni pojas. Ako ne postoji opcija upotrebe Samostalnog načina rada, tada se koristi ova tehnologija na zaštitnim pojasevima LTE, uz ograničenja i
3. Unutarpojasni način rada (engl. *In-Band Mode*) koristi se za operatere. Na strani RAN-a (engl. *Radio access network*) se dodjeljuju PRB za ovu tehnologiju unutar korištenog LTE spektra.

Arhitektura NB-IoT tehnologije podrazumijeva antene, NB-IoT modem i *host*-a. Kada je u pitanju antena, u većini slučajeva će ona biti postavljena u ili uz LTE pojas te stoga treba koristiti antenu koja radi uz taj pojas. Jedna antena ne može podržavati sve NB-IoT pojaseve niti ne radi na svakoj frekvenciji stoga je potrebno imati više od jedne antene. Ako NB-IoT mreža spada pod GSM ili LTE pojas moguće je koristiti običnu antenu. Inače se pojas koji se koristi definira kroz

nekoliko čimbenika poput regulatorne strukture zemlje u kojoj se nalazi, imovina spektra pružatelja mrežnih usluga i način implementacije NB-IoT tehnologije. Dalje se odabire modem ili modul. NB-IoT *chipset* je uglavnom ugrađen u modem. Modem koji se odabere, kako bi se koristio na globalnoj razini, treba biti odobren od strane GFC-a (engl. *Global Certification Forum*). Na kraju dolazi *host* što podrazumijeva mikroprocesor koji pokreće aplikaciju i sučelje za sve periferne uređaje. *Host* aplikacije male snage je izvrstan za kontroliranje potrošnje energije aplikacije. Kada je u pitanju protokol, obzirom da IoT uređaj šalje male bitove podataka preporučeno je koristiti komunikacijski protokol temeljen na IP protokolu, [26].

3. Pregled koncepta Interneta stvari

Internet stvari (engl. *Internet of Things*) - IoT podrazumijeva mrežu fizičkih objekata koji imaju ugrađene senzore, softver i ostale tehnologije kako bi se mogli povezivati i razmjenjivati podatke s drugim uređajima i sustavima putem interneta, [27].

Temelj Interneta stvari čine protokoli IP (engl. *Internet Protocol*) i TCP (engl. *Transmission Control Protocol*) koji služe povezivanju senzora, uređaja i sustava međusobno te na Internet. IoT moguće je primijeniti u različite svrhe i u širokom rasponu industrija, a neke od primjena jesu pametna proizvodnja, pametne zgrade, pametni grad, pametno zdravstvo, pametni transport što će biti objašnjeno u nastavku, [28].

3.1. Arhitektura Interneta stvari

Obzirom da se tehnologija Interneta stvari primjenjuje u različite svrhe i širokom rasponu, ona djeluje u skladu s onim kako je razvijena te u kojem segmentu mreže i primjene se nalazi. Nema standardno razvijenu arhitekturu jer ona ovisi o implementaciji ove tehnologije, ali postoji osnovni tijek procesa. Prema slici (7) četiri su sloja koncepta Interneta stvari koji će biti objašnjeni u nastavku, [29]



Slika 7 Slojevi Interneta stvari

Izvor: [29]

Senzorski sloj kao prvi sloj podrazumijeva prikupljanje podataka iz različitih izvora. Senzori i aktuatori su sastavni dio ovog sloja. Njihova uloga je prikupljanje informacija o parametrima poput vlažnosti, svjetlu, zvuku, temperaturi i drugim fizičkim parametrima. Senzori i aktuatori se s mrežnim slojem povezuju putem žičnih ili bežičnih komunikacijskih protokola, [29].

Mrežni sloj podrazumijeva pružanje komunikacije između uređaja u IoT sustavu. Protokoli i tehnologije su sastavni dio ovog sloja. Njihova uloga je povezivanje uređaja te njihova međusobna komunikacija, kao i komunikacija sa širim internetom. Također, mrežni sloj može podrazumijevati pristupnike i usmjerivače, čija je uloga posredovanje između uređaja i šireg interneta, te sigurnosne značajke poput enkripcije i autentifikacije kako bi se sustav zaštitio od neovlaštenog pristupa, [29].

Sloj obrade podataka podrazumijeva softverske i hardverske komponente. Njihova uloga je prikupljanje, analiza i interpretacija podataka s IoT uređaja. Zadaća ovog sloja je primanje neobrađenih podataka koje obrađuje te stavlja na raspolaganje za daljnju analizu ili djelovanje. Algoritmi strojnog učenja, sustavi za upravljanje podataka i analitičke platforme su alati koji se u sloju obrade podataka koriste za izvlačenje korisnih informacija te donošenja odluka na temelju istih. Podatkovno jezero (engl. *data lake*), centralizirano spremište za pohranu sirovih podataka s IoT uređaja, je tehnologija korištena u sloju obrade podataka, [29].

Aplikacijski sloj je krajnji sloj koji podrazumijeva izravnu komunikaciju sa krajnjim korisnikom. Pruža sučelja koja korisnicima omogućuju pristup i kontrolu IoT uređaja. Aplikacijski sloj, obzirom da povezuje IoT uređaje sa krajnjim korisnicima, sastoji se od mobilnih aplikacija, web platformi te drugih sučelja koji omogućuju interakciju korisnika s IoT infrastrukturom. Također, kao i sloj obrade podataka, ovaj sloj uključuje analizu i obradu podataka koji će dati korisne informacije, [29].

3.2. Implementacija koncepta Interneta stvari

3.2.1. Pametni grad

Pametni gradovi (engl. *Smart cities*) kao koncept su zaživjeli zahvaljujući tehnologijama Interneta stvari. Također, korištenje LPWAN tehnologije je olakšalo djelovanje te širenje Pametnog grada. Prema [19]: „Pametni grad je okvir koji se pretežno sastoji od informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT) za razvoj, implementaciju i promicanje praksi održivog razvoja za rješavanje rastućih izazova urbanizacije.“, [30].

Pametni grad se sastoji od mreže povezanih strojeva i objekata koji prenose podatke pomoću bežične tehnologije i oblaka, a naziva se još i digitalni grad. Glavna zadaća aplikacija Interneta stvari je primanje, analiza i upravljanje zaprimljenim podacima u stvarnom vremenu u svrhu donošenja odluka koje poboljšavaju kvalitetu života. Poduzeća, općine kao i sami građani se u

koncept pametnog grada uključuju koristeći pametne uređaje, domove ili povezane automobile na način gdje se uparaju uređaji s uslugama grada te infrastrukturom kako bi se smanjili eventualni troškovi i poboljšala održivost. Neki od ciljeva pametnog grada jesu smanjenje prometnih gužvi, poboljšanje distribucije energije, sakupljanje smeća, [30].

Pametni gradovi su primjer masovne upotrebe Interneta stvari. Četiri primjera bit će prikazana u nastavku [30]:

- Povezani semafori rade na principu primanja podataka od senzora i automobila. Zadaća je prilagoditi ritam svjetla i vrijeme kako bi se na promet odgovorilo u stvarnom vremenu s ciljem smanjenja zagušenja na cestama,
- Povezani automobili rade na principu komunikacije s parkirnim mjeračima ili stanicama za punjenje električnih vozila. Zadaća je usmjeravanje vozača na najbliže dostupno mjesto,
- Pametne kante za smeće rade na principu komunikacije s tvrtkama za gospodarenje otpadom. Zadaća je slanje podataka s ciljem odvoza prema potrebi umjesto unaprijed planiranog rasporeda i
- Pametni telefoni građana služe za mobilnu vozačku dozvolu i identifikacijski dokument čime se nastoji pojednostavniti pristup uslugama grada.

Primjene pametnog grada ogledaju se kroz tipične primjene, primjene u prometu te primjene preferiranih mrežnih tehnologija. Tipične primjene podrazumijevaju smanjenje troškova rasvjete, kontrole otpada, praćenja buke, zagađenja zraka te informacije o stvarnom stanju prometa i parkirnim mjestima. Primjene u prometu podrazumijevaju srednju do veliku mrežu obzirom na tisuće povezanih uređaja. Kvaliteta usluge nije kritičan faktor te se tolerira kašnjenje do jedne minute. IoT senzori koji se koriste, uglavnom se napajaju na baterije. Primjene preferiranih mrežnih tehnologija obzirom na karakteristike prometa podrazumijevaju LPWAN tehnologiju koja može ispuniti sve zahtjeve i ima jednostavnu implementaciju, [3].

3.2.2. Pametno zdravstvo

Pametno zdravstvo razvija inovacije i usvaja nove tehnologije te je tako usvojilo i koncept Interneta stvari. Glavni cilj korištenja Interneta stvari u pametnom zdravstvu jest povezivanje pacijenata s liječnicima putem daljinskog nadzora ili čak virtualnih posjeta. Također, govoreći o farmaceutskoj industriji, cilj je olakšati pristup podacima o pacijentima te na taj način

pojednostavniti pružanje usluga poput proizvodnje i izdavanja lijekova. Koncept Interneta stvari u zdravstvu prvenstveno se odnosi na pružanje njege pacijentu izvan klinike tako što bi se IoT uređajima pratili vitalni znakovi pacijenta te bi se takvi podaci slali dalje. Obzirom da je riječ o osjetljivim podacima, sigurnost slanja i primanja takvih podataka je glavna zadaća, [31].

Onečišćenje zraka jedan je od najvećih čimbenika u povećanju respiratornih bolesti, a mogućnost mjerenja kvalitete zraka te dobivanja što točnijih informacija pomaže zdravstvenoj industriji u otkrivanju i prevenciji bolesti, [31].

Primjene pametnog zdravstva ogledaju se kroz tipične primjene, primjene u prometu te primjene preferiranih mrežnih tehnologija. Tipične primjene podrazumijevaju dvije skupine. Prva skupina bi bili pojedinci koji žele pratiti osobno stanje, analiziranje kretanja, praćenje fitnessa. Druga skupina bi bile bolnice i liječnici koji žele imati uvid u zdravstveno stanje pacijenata. Primjene u prometu podrazumijevaju mogućnosti nosivih uređaja te zahtjeve aplikacija u zdravstvu. Kada je u pitanju mreža, za pojedince kojima je potrebno samo nekoliko uređaja, dovoljna je mala mreža, dok je za praćenje pacijenata u bolnici potrebna srednja mreža sa stotinama čvorova. Kvaliteta usluge treba biti na visokoj razini te su kašnjenja ili gubitci poruka skoro pa neprihvatljivi u potpunosti. Napajanje uređaja je putem baterija ili, ako se koriste statički čvorovi, glavni izvor napajanja. Primjene preferiranih mrežnih tehnologija podrazumijevaju mrežne tehnologije kratkog dometa pa tako RFID, Bluetooth i ZigBee obavljaju zadaće koristeći mobilni uređaj kao pristupnik, [3].

3.2.3. Pametne zgrade

Pametne zgrade, koristeći IoT uređaje, imaju mogućnost praćenja različitih karakteristika zgrade, analizu podataka i generiranje obrazaca za optimizaciju okruženja zgrade. Ovakav koncept pruža više mogućnosti u odnosu na klasični sustav upravljanja zgradom. Također, jedan koncept ne zamjenjuje drugi nego rade u sprezi. Ovisno o potrebama, implementacija pametne zgrade se razlikuje i prilagođava tako da će sustav pratiti relevantno područje rada te prikupljati i analizirati podatke, [32].

Primjene pametnih zgrada ogledaju se kroz tipične primjene, primjene u prometu te primjene preferiranih mrežnih tehnologija. Tipične primjene podrazumijevaju kontrolu rasvjete i grijanja, praćenje potrošnje energije i vode kako bi se mogli regulirati troškovi i optimizirati korištenje

potičući tako uštedu, daljinsko upravljanje osobnim pametnim uređajima te povećanje sigurnosti imovine. Primjene u prometu podrazumijevaju skalabilnu infrastrukturu jer se svaka nekretnina razlikuje. Kada je u pitanju mreža, ona se najčešće sastoji od oko 10 do 100 povezanih uređaja čiji je promet rijedak i neredovit obzirom da se ljudi kreću unutar zgrade. Zahtijeva se visoka kvaliteta usluge obzirom da korisnici žele da se tražena usluga izvrši u roku nekoliko sekundi. Napajanje uređaja moguće je na struju ili baterije. Primjene preferiranih mrežnih tehnologija kod pametnih zgrada većinom podrazumijevaju mrežne tehnologije kratkog dometa. Za WPAN uređaje koji se koriste za IoT kao najbolji izbor su se pokazali Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, također i Wi-Fi gdje izvori energije nisu problem, [3].

3.2.4. Pametna proizvodnja

Pametna proizvodnja ima mogućnost prikupljanja i analiziranja podataka koje šalje upraviteljima tvornica kako bi na vrijeme bili informirani te mogli donositi odluke i optimizirati proizvodnju. Prednosti ovog koncepta jesu mogućnost daljinskog nadzora i upravljanja procesima što omogućuje eventualne brze promjene planova u stvarnom vremenu ako za to ima potrebe. Također, podrazumijeva optimizaciju proizvodnih procesa poput izvedbe, kvalitete, upravljanje resursima i troškova, [33].

Obzirom na visoke zahtjeve za proizvodnju koji prate globalizaciju, ovakav koncept nudi kraća razvojna razdoblja, fleksibilnost i novo inovativno poslovanje. Primjene pametne proizvodnje ogledaju se kroz tipične primjene, primjene u prometu te primjene preferiranih mrežnih tehnologija. Tipične primjene podrazumijevaju poboljšanje kvalitete i fleksibilnosti pri upravljanju opskrbnim lancem, osiguravanje sigurnih uvjeta za radnike te praćenje okoliša i nadgledanje strojeva. Primjene u prometu podrazumijevaju veličinu mreže pametne proizvodnje u odnosu na količinu predmeta, strojeva i radnika koje treba nadzirati. Stopa prometa može biti redovita i neredovita te je potrebno prikupljati podatke i izvješća o proizvodnji. Kvaliteta usluge - QoS (engl. *Quality of service*) ovisi o vrsti poruke te o mogućnosti aplikacije za detektiranje događaja od interesa. Uređaji korišteni za pametnu proizvodnju mogu biti pasivni te napajani iz mreže ili na baterije. Primjene preferiranih mrežnih tehnologija kod pametne proizvodnje uglavnom podrazumijevaju RFID, mrežnu tehnologiju kratkog dometa, radi dostupnosti i niskih troškova, obzirom da se većina proizvodnih procesa odvija u zatvorenom prostoru. Također, i mreže dugog dometa se primjenjuju, [3].

3.2.5. Pametni transport

Pametni transport ima za cilj učiniti prijevoz bržim, jeftinijim i sigurnijim. Obzirom na rast prometnih gužvi te samu globalizaciju, stvara se potreba za upravljanjem prijevoza i mobilnosti. To se ostvaruje pomoću IoT uređaja i tehnologija prikupljajući podatke i analizirajući ih za dobivanje optimalnih rješenja, [3].

Primjene pametnog transporta ogledaju se kroz tipične primjene, primjene u prometu te primjene preferiranih mrežnih tehnologija. Tipične primjene podrazumijevaju automatizirana i autonomna vozila kao i lokalizaciju i praćenje vozila, pošiljki te upravljanje semaforima na temelju stvarnog stanja prometa te kontrola stanja na cesti. Primjene u prometu podrazumijevaju senzore u vozilima, prikupljanje podataka, zahtjevi za QoS, uređaje za pametni transport i mobilnost. Obzirom na rast broja senzora u vozilima, kao i cestovnih senzora i senzora za praćenje pošiljki, potrebna je mreža koja može pružiti kvalitetu usluge za tisuće povezanih uređaja. Zahtjevi za kvalitetom usluge su visoki, uz toleranciju na kašnjenje od nekoliko sekundi pri komunikaciji između vozila ili prilikom slanja obavijesti o dolascima javnog prijevoza. Kada je u pitanju prikupljanje podataka za analizu, pretpostavlja se jedna poruka na 24 sata. Napajanje uređaja je najčešće baterijom vozila ili mrežnim napajanjem uz cestu što podrazumijeva manju uštedu energije uz preciznije slanje podataka. Međutim, cestovni senzori te senzori za praćenje pošiljki imaju kritičnu energetska učinkovitost. Primjene preferiranih mrežnih tehnologija kod pametnog transporta su podijeljene, odnosno ovise o vrsti komunikacije. Tako se kod komunikacije između vozila koriste mrežne tehnologije kratkog dometa, dok se kod nadzora vozila koriste mrežne tehnologije dugog dometa, [3].

4. Unaprjeđenja koncepta Interneta stvari primjenom 5G tehnologije

Bežična tehnologija pete generacije mobilnih mreža, odnosno 5G, jest evolucija 4G LTE (engl. *Long-term evolution*) trenutne mreže. Dizajnirana je tako da ispunjava zahtjeve aktualnih tehnoloških trendova te veliki interes za Internet stvari. Značajke koje napreduju uvođenjem 5G tehnologije su svakako brzina slanja i preuzimanja od 1Gbps, stabilnija mrežna veza te smanjenje kašnjenja. Također, dizajnirana je za pouzdaniju isporuku signala. Pruža širi frekvencijski raspon što sprječava zagušenje mreže. Ono o čemu je i riječ u ovom poglavlju jest da će 5G olakšati ekosustav Interneta stvari te također integrirati umjetnu inteligenciju – AI (engl. *Artificial intelligence*), [34].

5G radi u tri pojasa [34]:

- Nisko-pojasni spektar podrazumijeva dobru pokrivenost, ali maksimalne brzine do 100Mbps. Pretpostavlja se kako operateri mogu koristiti brzi Internet za komercijalne korisnike, dok isti neće biti optimalan za potrebe industrije,
- Srednje-pojasni spektar podrazumijeva veće brzine od prethodnog, ali nešto ograničenije područje pokrivenosti. Ovaj spektar zadovoljava potrebe industrije koje ga koriste za izgradnju vlastitih mreža i
- Visoko-pojasni spektar podrazumijeva najveću brzinu, ali i ograničenost pokrivenosti. Testirane brzine ovog spektra su do 20 Gbps što je u odnosu na maksimalnu brzinu 4G mreže 20 puta veća brzina.

5G tehnologija pruža brže veze te smanjuje kašnjenja. Također, transmisijska tehnologija je važna u tehnologiji Interneta stvari te je radi nabrojanog 5G važan napredak za Internet stvari. Uz napredovanje 5G bežične tehnologije, svakako će i Internet stvari napredovati. U nastavku će biti objašnjeno nekoliko poboljšanja u konceptu Interneta stvari uvođenjem 5G bežične tehnologije [35]:

- Povećanje propusnosti podrazumijeva veće brzine propusnosti, brži prijenos podataka te veću rezoluciju slika i videozapisa,

- Brže povezivanje podrazumijeva povećanja brzine veze što ponajviše odgovara aplikacijama za virtualnu stvarnost,
- Niska latencija čini aplikacije osjetljivijima te povećava njihovu točnost,
- Poboljšana sigurnost podrazumijeva višu razinu sigurnosnih značajki poput autentifikacije i enkripcije. To, također, otežava iskorištavanje mreže Interneta stvari,
- Smanjenje troškova podrazumijeva manje troškove mreže Interneta stvari te infrastrukture.
- Poboljšana skalabilnost podrazumijeva razvoj složenijih aplikacija i većih mreža,
- Usluge temeljene na lokaciji podrazumijeva pružanje točnijih lokacija i informacija koje se šalju putem uređaja Interneta stvari i
- Povećanje pokrivenosti podrazumijeva širi raspon mreže Interneta stvari te povećava broj uređaja na mreži što dovodi do jednostavnije upotrebe složenih aplikacija.

Svako od poboljšanja koje 5G bežična tehnologija nosi sa sobom uveliko dovodi do poboljšanja rada i kvalitete mreže, mrežnih performansi. Također omogućuje kvalitetnije korištenje svakog segmenta koncepta Interneta stvari.

Mrežno rezanje (engl. *Network slicing*) ima mogućnost prilagodbe mreže ovisno o zahtjevima te pripada virtualnoj mrežnoj arhitekturi. Obzirom kako je 5G mreža projektirana za zadovoljavanje potreba i zahtjeva, mrežno rezanje omogućuje izvršenje tih zahtjeva. Primjerice, neke industrije zahtijevaju višu latenciju te veće brzine dok neke zahtijevaju veliku pouzdanost prijenosa i nisku latenciju, [36].

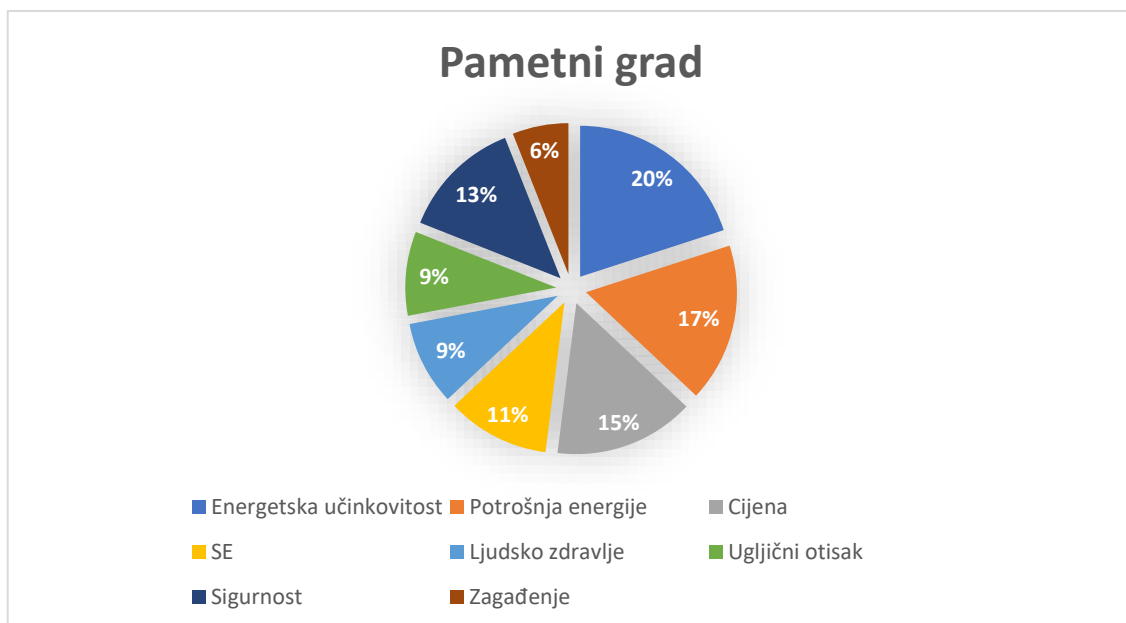
5G tehnologija ima za zadaću ojačati zelene komunikacijske mreže, uz nove tehnologije, koje će biti veće u usporedbi s 4G LTE mrežama. Osiguravanje zelenih 5G tehnologija odvija se putem tri tehnologije.

Prva od njih je Milimetarski val - *mmWave* (engl. *Millimeter Wave*) koja predstavlja odnos između frekvencije (f), valne duljine (λ) i brzine svjetlosti u slobodnom prostoru (c). Valna duljina predstavlja umnožak frekvencije i brzine svjetlosti u slobodnom prostoru. Tehnologija *mmWave* se koristi za povećanje kapaciteta u 5G mrežama. Frekvencijski raspon joj je 30 – 300 GHz te radi kraćih valnih duljina proizvodi uže zrake koje omogućuju sigurniji prijenos podataka uključujući velike brzine i male latencije. Tehnologija *mmWave* djeluje na velikim udaljenostima, dok za pokrivanje područja kratkog dometa koristi pomoćne male stanice. Ova tehnologija predstavlja

zelenu 5G tehnologiju za povećanje raspoloživog spektra te poboljšanje spektralne učinkovitosti – SE (engl. *spectral efficiency*), [37].

Naredna tehnologija je Masivni višestruki ulaz i višestruki izlaz – M - MIMO (engl. *Massive Multiple-Input Multiple-Output*). Ova tehnologija, za razliku od MIMO tehnologije, koristi velik broj antena – do nekoliko stotina. Time omogućava bežičnim uređajima postavljanje više manjih antena. M-MIMO tehnologija omogućava visoke brzine prijenosa, propusnost te kao i prethodna tehnologija poboljšanje spektralne učinkovitosti. Također, usmjerava energiju u manje prostore čime poboljšava i energetska učinkovitost, [37].

Treća tehnologija bi bila ultra guste mobilne mreže i male ćelije (engl. *Ultra-dense mobile networks and small cells*). Ultra guste mreže jesu veliki broj malih ćelija koje se postavljaju na svako 250m te time čine gustu mrežu. Na taj način se dostiže velika brzina prijenosa uz smanjenu potrošnju energije. Obzirom na malu udaljenost između odašiljača i korisnika, ova tehnologija nudi sprječavanje smetnji i smanjenje latencije, [37].



Grafikon 1 Pametni grad u 5G mreži

Izvor: [37]

Grafikonom 1 je prikazano, u postotcima, koliko se koji čimbenik u konceptu pametnog grada fokusira kada je u pitanju održivost u 5G mrežama.

Kada je u pitanju odnos koncepta pametno zdravstvo i 5G mrežna tehnologija, napredovanje se očituje u vidu pokretanja telemedicine, udaljene kirurgije te konzultacija na daljinu. Svaka od ovih mogućnosti zahtijeva mrežu koja podržava video visoke kvalitete koji ide uživo te veliki kapacitet prijenosa podataka, što 5G mreža omogućuje. Telemedicina postoji i u 4G LTE mreži, međutim sve funkcionalnosti koje 5G mreža nosi sa sobom, a objašnjene su ovim poglavljem, razvijaju je do jedne veće razine omogućavajući proširenu stvarnost – AR i virtualnu stvarnost – VR. Proširena i virtualna stvarnost omogućit će liječnicima, tehničarima, ali i studentima kvalitetno obrazovanje i usavršavanje na daljinu, kao i brigu za pacijente, [37].

5G mreža pametnoj proizvodnji će omogućiti povezivanje strojnih parkova, strojeva te tvorničkih lokacija. Također, uvođenjem senzora na strojeve, moći će se pratiti njihovo stanje, provjere kvarova te proces proizvodnje i iskorištenje materijala. Uvođenje 5G mreže omogućuje međusobnu komunikaciju između strojeva te inovativnu i efikasnu proizvodnju.

U odnosu povezanosti autonomnih vozila međusobno te vozila s pješacima, mrežom te infrastrukturom, 5G donosi siguran i pouzdan rad mreže. Nudi pomoć pri izbjegavanju sudara, povećanje sigurnosti na cesti, učinkovitost prometa te štednju energije, [37].

5. Pregled izazova i otvorenih pitanja u konceptu Interneta stvari

Koncept Interneta stvari je relativno nova tema koja obuhvaća tehničko, društveno i ekonomsko okružje. Radi na principu spajanja uređaja, senzora, vozila na internetsku mrežu te se samim time postavlja pitanje sigurnosti i privatnosti. Također, interoperabilnost, standardi te prava su izazovi s kojima se koncept Interneta stvari susreće, [38].

5.1. Sigurnost i privatnost u konceptu Interneta stvari

Sigurnost kao pojam se do sada već puno puta spominjao u kontekstu Interneta i mreže, međutim razvojem novih tehnologija korisnici su sve više izloženi svakodnevnom povezivanju na mreže te je takav princip integriran među njih. To dovodi do novih pitanja u vezi sigurnosti obzirom kako korisnici žele biti u potpunosti zaštićeni od cyber napada te zlouporabe njihovih osobnih podataka koje ostavljaju na mreži. Svaki loše osiguran IoT uređaj ili senzor, povezan na mrežu, ugrožava korisnike te njihovu sigurnost. Stoga je osnovna zadaća programera IoT uređaja omogućavanje sigurnosti te pronalazak rješenja u slučaju narušavanja iste. Uz sigurnost tu je i privatnost za koju korisnici očekuju da se njihovi podaci kojima se kreira digitalni portret korisnika koristi isključivo u te svrhe te da ne podliježe ranjivosti sustava, [38].

Loše osiguran IoT uređaj može postati meta za kibernetičke napade na način da se zlouporabom ponovno programira uređaj ili uzrokuje kvar na istom. Također, loše dizajnirani i osigurani uređaji mogu dovesti do nezaštićenih korisničkih podataka što dovodi i do sigurnosne ranjivosti. Uz to, sve je veći broj korisnika i samih IoT uređaja koji, ukoliko su loše osigurani, mogu biti potencijalna prijetnja sigurnosti lokalne mreže, ali i globalnog Interneta. Kada je riječ o sigurnosti, bitno je naglasiti kako niti jedan uređaj ne može biti u potpunosti siguran. Razlikuju se namjene i implementacije uređaja te njihovo djelovanje tijekom kibernetičkog napada. Uređaji poput televizija, pametnih mobitela, računala se mogu lakše odspojiti s Interneta, međutim sustavi kontrole prometa ili stimulatori koji se koriste u zdravstvene svrhe, a čiji korisnici mogu postati žrtve, je teže kontrolirati i zaštititi ako dođe do napada. Zbog toga je bitno sigurnost, ali i privatnost, staviti na prvo mjesto tijekom implementacije IoT uređaja. Također, kada korisnik koji ima namjeru koristiti neki od IoT uređaja shvaća značenje visoke sigurnosti, spreman je uložiti više resursa u istu, dok će ostali korisnici biti spremni koristiti uređaje sa lošijim sigurnosnim dizajnom. Na odluku o izboru mogu utjecati čimbenici poput procjene troškova štete, kao i

troškova ublažavanja rizika. Većinom je riječ o pojedinačnim korisnicima ili nekim organizacijskim jedinicama čiji IoT uređaji djeluju na njihovoj lokalnoj mreži, međutim povezanost IoT uređaja čini cijeli IoT ekosustav što znači da svaka pojedinačna odluka o sigurnosti može imati utjecaj na globalnu mrežu,[39].

IoT uređaji su dizajnirani tako da prikupljaju podatke o svojoj okolini, što uključuje i korisnike. Često je to korisno samim korisnicima, međutim postavlja se pitanje zaštite privatnosti kada korisnici koriste uređaje koji zaprimaju podatke o njihovim svakodnevnim navikama kao i geolokaciji. Često korisnici nisu niti svjesni da njihovi uređaji prikupljaju informacije poput prepoznavanja glasa i detekcije pokreta te da se razgovori ili aktivnosti šalju u uslugu na oblaku. Korisnici često koriste IoT uređaje upravo iz razloga što pohranjuju velike količine informacija, pamte informacije za njih te olakšavaju svakodnevne aktivnosti. Međutim, bitno je osigurati korisnicima sprovođenje postavki privatnosti što je više moguće kako bi se nesmetano nastavili koristiti Internetom te samim konceptom Interneta stvari,[39].

5.2. Interoperabilnost u konceptu Interneta stvari

U ovoj izvedbi potrebno je imati ispravno konfigurirane uređaje te koristiti generičke i široko dostupne standarde kao obavezni dio uređaja i usluga Interneta stvari. Uz to, korisnicima se nudi određena vrsta sigurnosti kao i ispravan rad uređaja. Za uređaje i usluge koje koncept Interneta stvari nudi potrebno je omogućiti fleksibilnu integraciju te skoro pa potpunu interoperabilnost,[34].

Interoperabilnost je cilj internetskih standarda, kao i ekonomskog učinka. Dobro definirana interoperabilnost može poticati inovacije za proizvođače što povećava vrijednost tržišta. Idealni slučaj interoperabilnosti je onaj u kojem se svaki IoT uređaj neprimjetno povezuje s drugim uređajima i sustavom s kojima razmjenjuje informacije. Međutim, postići takvu interoperabilnost je složen proces i nije uvijek izvediv. Stoga je potrebno izbjegavati nametanje standarda što utiče na ulaganja i inovacije. Tehnička ograničenja poput ograničenih resursa obrade, kapacitet memorije, zahtjevi za potrošnju energije mogu utjecati na interoperabilnost. Proizvođači također provode analize troškova kako bi troškovi izvedbe te sama cijena uređaja bili opravdani. U tom kontekstu, integracija interoperabilnosti može prouzrokovati veće troškove. Međutim, dugoročno gledano, tijekom jednog životnog ciklusa proizvoda, interoperabilnost donosi prednosti poput

poboljšane kompatibilnosti s drugim uređajima i sustavima, prihvaćanje šireg tržišta kao i otpornost na razvoj industrijskih standarda. Stoga je važno, prilikom provedbe i proizvodnje, gledati dugoročnu korist koju interoperabilnost sa sobom donosi, [39].

5.3. Regulatorna i pravna pitanja u konceptu Interneta stvari

Iduće pitanje u vezi koncepta Interneta stvari su regulatorna i pravna pitanja. Kako se promjene u tehnologiji Interneta stvari često događaju, često se pravnoj regulativi teško prilagoditi. Pod ovu skupinu pitanja spada zlouporaba podataka prikupljenih IoT uređajima te sukob organa za provođenje zakona te građanskih prava u smislu propusta privatnosti ili uništavanja podataka. Stoga je bitno usvajati aktuelna načela Internet društva kako bi se sposobnosti korisnika poput govora, inovacija te povjerenja uzela u razmatranje za razvoj pravnih propisa i zakona Interneta stvari, [34].

Podaci prikupljeni IoT uređajima mogu bez napora prijeći granice nadležnosti. Detaljni podaci iz IoT uređaja mogu imati pozitivnu stranu, onu u kojoj korisniku olakšavaju svakodnevne aktivnosti, ali i nove izazove. Primjerice praćenje zdravstvenog stanja korisnika može pomoći u postavljenim ciljevima, kao i u lakšoj kontroli zdravstvenih parametara. GPS u automobilima također donosi prednosti poput lakšeg snalaženja u vožnji i jednostavnijeg dolaska na odredište. Međutim, radi negativnih i diskriminacijskih stvari koje IoT uređaji donose sa sobom bitno je utvrditi pravne zakone. Kako bi se zaštitila prava korisnika prilikom korištenja koncepta Interneta stvari bitno je uskladiti prednosti analitike podataka IoT sa zaštitom korisnika i postojećih zakona,[39].

5.4. Izazovi pri implementaciji koncepta Interneta stvari

Kada su u pitanju implementacije koncepta Interneta stvari iz trećeg poglavlja, svaka od njih ima svoj glavni izazov. Kod stvaranja pametnog grada, implementacija je moguća korištenjem trenutnih tehnologija, no problem stvaraju sustavi koji su većinski vlasnički te nisu kompatibilni međusobno, a za ispravno djelovanje pametnog grada moraju biti integrirani u jednu platformu. Također, učinkovitost troškova je još jedno od pitanja s kojim se ovaj koncept susreće i koje je potrebno istražiti. Glavni izazov implementacije pametnog zdravstva jest posjedovanje jednostavnih i nesmetano prenosivih uređaja koje, u idealnim uvjetima, pacijenti ne bi morali nositi sa sobom gdje god se oni kretali. Za pametne zgrade najveći izazov i nedostatak je

interoperabilnost. Također, kao i kod pametnog grada, idealno rješenje je integracija u jednu zajedničku platformu s koje se upravlja IoT uređajima. Kao još jedno moguće rješenje nudi se prihvaćanje mrežne tehnologije, poput ZigBee, na globalnoj razini. Pametna proizvodnja se pak bori sa konstantnim promjenama te očekivanjima potrošača te stoga zahtijeva visoku pouzdanost bežičnih tehnologija te IoT uređaja. Također, kod pametnog transporta dinamičnost i potpuna pouzdanost predstavljaju izazov za bežične mreže i Internet stvari kako bi se u potpunosti realizirala ideja automatiziranog prijevoza, [3].

6. Zaključak

Učestala poboljšanja postojećih tehnologija te uvođenje novih, donose nove koncepte kao i nove izazove u već implementiranim konceptima. Jedan takav jest koncept Interneta stvari koji sam po sebi nosi brojne pogodnosti krajnjim korisnicima. Prvo implementiran u 4G mreži, nudio je brojne mogućnosti. Kako je radom napisano, koncept Interneta stvari prožima se kroz pametni grad, pametno zdravstvo, pametne zgrade, pametnu proizvodnju te pametni transport. Svaki od njih pojedinačno nudi novitete u odnosu na neke starije tehnologije ili načine življenja. Pametni gradovi omogućuju stanovnicima jednostavnije življenje nudeći im opcije pametnih kanti za smeće, lakšu raspodjelu smeća što svakako utiče i na kvalitetu života. Tu su još i pametne rasvjete, pametni semafori te povezivost pametnih uređaja sa uređajima koncepta pametnog grada. Na pametni grad nadovezuju se i pametne zgrade koje su jedan dio tog grada, a čija je zadaća olakšati način života, komunikaciju sa susjedima kao i komunikaciju sa IoT uređajima jedne zgrade. Pametno zdravstvo ima velike pogodnosti u vidu praćenja osobnih rezultata i nalaza, kao i mogućnost surađivanja sa stručnim osobljem na daljinu. Na takav se način stanovništvo može uključiti u učestalija obavljanja pregleda, kontrole zdravlja te možda u budućnosti i sprječavanje brojnih oboljenja. Pametna proizvodnja i pametni transport svakako imaju svoje prednosti kako za velike, tako i za male proizvodne djelatnosti kroz nadzor strojeva te vozila za transport koji su opremljeni sensorima i IoT uređajima za komunikaciju sa ostalima.

Uvođenjem nove 5G tehnologije već postojeći koncept Interneta stvari se poboljšava kroz uvođenje novih, boljih uređaja, povećanjima brzine, smanjenjem kašnjenja. Također se pokreće telemedicina, udaljena kirurgija, povezivanje proizvodnih parkova te na cestama sigurnija vožnja kao i komunikacija između vozila te vozila i pješaka.

Naravno, na sve pogodnosti koje ovaj koncept nudi, postavlja se pitanje sigurnosti, obzirom kako su korisnici konstantno povezani na mrežu, na nekoliko uređaja te da senzori prikupljaju sve podatke. Stoga se bitno zaštititi od napada i zlouporabe imajući ispravno konfigurirane uređaje te koristiti generičke i široko dostupne standarde kao obavezni dio uređaja i usluga Interneta stvari.

Literatura

1. Tech Target – Mobile Computing. *What is wireless communications? Everything you need to know*. Preuzeto s: <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/wireless> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
2. Wat Electronics. *Different Types of Wireless Communication Technologies*. Preuzeto s: <https://www.watelectronics.com/different-types-wireless-communication-technologies/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
3. Network Traffic *Characteristics of the IoT Application Use Cases*. Preuzeto s: https://ecs.wgtn.ac.nz/foswiki/pub/Main/TechnicalReportSeries/IoT_network_technologies_embeddings.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
4. Kulanadaivel R, Perivanavagi S, Susikala S. *Performance comparison of WSN & WSAN using Genetic Algorithm*. Elsevier. 2012;30: 107-112.
5. Techopedia. *Wireless Personal Area Network*. Preuzeto s: <https://www.techopedia.com/definition/5109/wireless-personal-area-network-wpan> [Pristupljeno: lipanj 2024.]
6. Techopedia. *Wireless Local Area Network (WLAN)*. Preuzeto s: <https://www.techopedia.com/definition/5107/wireless-local-area-network-wlan> [Pristupljeno: lipanj 2024.]
7. TechTerms.com. *WLAN*. Preuzeto s: <https://techterms.com/definition/wlan> [Pristupljeno: lipanj 2024.]
8. Arhitektura telekomunikacijske mreže. *Arhitektura senzorskih mreža*. Preuzeto s: E-kolegij: Arhitektura telekomunikacijske mreže (srce.hr) [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
9. Tech Target. *RFID (radio frequency identification)*. Preuzeto s: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/RFID-radio-frequency-identification> [Pristupljeno: listopad 2023.]
10. Tt Electronics. *RFID: The Technology Making Industries Smarter*. Preuzeto s: <https://www.ttelectronics.com/blog/rfid-technology/> [Pristupljeno: lipanj 2024.]

11. Geeks for geeks. *Near Field Communication (NFC)*. Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/near> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
12. Geeks for geeks. *Bluetooth*. Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/bluetooth/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
13. Science Direct. *Bluetooth low energy*. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/bluetooth-low-energy> [Pristupljeno: listopad 2023.]
14. Geeks for geeks. *What is Z-Wave?* Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-z-wave/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
15. Geeks for geeks. *Introduction of ZigBee?* Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-of-zigbee/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
16. Cisco. *What is Wi-Fi?* Preuzeto s: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wifi.html> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
17. How To Geek. *What is Wi-Fi, and How Does It Work?* Preuzeto s: <https://www.howtogeek.com/865706/what-is-wi-fi/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
18. Geeks for geeks. *Basic Wi-Fi*. Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/basics-of-wi-fi/> [Pristupljeno: listopad 2023.]
19. Firefly Networks. *WiFi Technology*. Preuzeto s: <https://www.fireflynetworks.co.in/blog/wifi-technology> [Pristupljeno: lipanj 2024.]
20. Kyocera. *What is Sigfox?* Preuzeto s: <https://en.kccs-iot.jp/service/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
21. Circuit Digest. *An Introduction to Sigfox Technology – Basics, Architecture and Security Features*. Preuzeto s: <https://circuitdigest.com/article/what-is-sigfox-basics-architecture-and-security-features> [Pristupljeno: listopad 2023.]
22. Lora Alliance. *What is LoRaWAN Specification*. Preuzeto s: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
23. Planet Technology. *What is LoRaWAN, and How is it Used?* Preuzeto s: <https://planetechusa.com/what-is-lorawan/> [Pristupljeno: listopad 2023.]

24. The things network. *LoRaWAN Architecture*. Preuzeto s: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture/> [Pristupljeno: listopad 2023.]
25. Telecompedia. *What is NB – IoT?* Preuzeto s: <https://telecompedia.net/nb-iot/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
26. Gsma. *An NB-IoT Architecture Breakdown For IoT Architects*. Preuzeto s: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/internet-of-things/gsma_resources/an-nb-iot-architecture-breakdown-for-iot-architects/ [Pristupljeno: listopad 2023.]
27. Oracle. *What is IoT?* Preuzeto s: <https://www.oracle.com/internet-of-things/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
28. IBM. *What is the Internet of things?* Preuzeto s: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
29. Geeks for geeks. *Architecture of Internet of Things (IoT)*. Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/architecture-of-internet-of-things-iot/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
30. Thales. *Secure, sustainable smart cities and the IoT*. Preuzeto s: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/inspired/smart-cities> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
31. BuiltIn. *IoT in Healthcare: 16 Examples of Internet of Things Healthcare Devices and Technology*. Preuzeto s: <https://builtin.com/articles/iot-in-healthcare> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
32. Iotacomm. *What Is A Smart Building?* Preuzeto s: <https://iotacommunications.com/smart-building/#:~:text=Smart%20buildings%20use%20Internet%20of%20Things%20%28IoT%29%20devices%E2%80%94sensors%2C,used%20to%20optimize%20the%20building%E2%80%99s%20environment%20and%20operations.> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
33. Thales. *Smart manufacturing and the IoT are driving the Industry 4.0 revolution*. Preuzeto s: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/inspired/smart-manufacturing> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]

34. Geeks for geeks. *5G Technology and Its Significance*. Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/5g-technology-and-its-significance/?ref=gcse> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
35. Tvisha. *How does 5G Technology Enhance The Internet Of Things (IoT)*. Preuzeto s: <https://www.tvisha.com/blog/how-does-5g-technology-enhance-the-internet-of-things> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
36. Livaja I. *Utjecaj 5G mreže na Internet stvari*. Stručni rad. Veleučilište u Šibeniku; 2020. Preuzeto s: [KB_Zbornik_veleuciliste_1-2_2020.indd](http://www.vucib.hr/KB_Zbornik_veleuciliste_1-2_2020.indd) (srce.hr) [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
37. M. J. Shehab, I. Kassem, A. A. Kutty, M. Kucukvar, N. Onat and T. Khattab. *5G Networks Towards Smart and Sustainable Cities: A Review of Recent Developments, Applications and Future Perspectives*. IEEE Access. 2021; 10(): 2987-3006.
38. Internet Society. *The Internet of Things (IoT): An Overview*. Preuzeto s: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview/> [Pristupljeno: kolovoz 2023.]
39. K.Rose, S.Eldridge, L.Chapin. *The Internet of Things: An overview understanding the issues and challenges of a more connected world*. The Internet Society (ISOC); 2015. Preuzeto s: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf> [Pristupljeno: lipanj 2024.]

Popis slika

Slika 1 Kako RFID radi	6
Slika 2 Arhitektura Bluetooth tehnologije	9
Slika 3 Arhitektura ZigBee tehnologije	13
Slika 4 Arhitektura Wi-Fi mreže	14
Slika 5 Arhitektura Sigfox tehnologije	17
Slika 6 Arhitektura LoRaWAN mreže	18
Slika 7 Slojevi Interneta stvari	21

Popis grafikona

Grafikon 1 Pametni grad u 5G mreži	29
--	----

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI


Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad _____
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom __Analiza bežičnih komunikacijskih tehnologija u području koncepta Interneta stvari__, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, _____

Nikolina Čečura 
(ime i prezime, potpis)