# Bežične komunikacijske tehnologije za okruženje pametnog grada

**Žoldin, Vinko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:381262

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-21**

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

# BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE ZA OKRUŽENJE PAMETNOG GRADA

**Završni rad**

**Vinko Žoldin**

**Osijek, 2017.**

# Sadržaj


1. UVOD ..... 1
1.1. Zadatak završnog rada ..... 1
2. SUVREMENE BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE ..... 2
2.1. Wi-Fi ..... 3
2.2. WiMAX ..... 5
2.3. LTE ..... 7
2.4. LTE-A ..... 9
2.5. Bluetooth ..... 11
2.6. ZigBee ..... 13
2.7. Z-Wave ..... 15
2.8. LoRaWAN ..... 17
2.9 Usporedba ..... 20
3. BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE U RAZVOJU ..... 22
3.1. Softverski definirano umrežavanje (SDN) ..... 22
3.2. Network functions virtualization ..... 24
3.3. Komunikacija vidljivom svjetlošću ..... 26
3.4. Kognitivna radio mreža (CRN) ..... 27
3.5. Green communication ..... 28
3.6. 6LowPAN ..... 29
3.7. Thread ..... 30
3.8. Sigfox ..... 32
3.9. Neul ..... 34
3.10. Near field communication ..... 35
3.11. 5G ..... 36
4. PRIMJENA BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA ..... 39
4.1. Koncept pametnog grada ..... 39
4.2. Sadašnji i budući izazovi ..... 40
4.3. Internet stvari (IoT) ..... 40
4.4. Case Study ..... 41
4.4.1. Interoperabilnost i otvoreni standardi ..... 41
4.4.2. Programabilni grad ..... 42
4.4.3. Javno dostupna IoT mreža ..... 42

4.4.4. Pametne četvrti ... 43
4.4.5. Pametna opskrba vodom ... 43
4.4.6. Pametna rasvjeta ... 44
4.4.7. Pametne zgrade ... 44
4.4.8. Pametne kante i upravljanje otpadom ... 45
4.4.9. Pametno parkiralište ... 45
4.4.10. Pametno napajanje ... 46
4.4.11. Autonomna vozila ... 46
4.4.12. Kombiniranje podataka (mashup) ... 47
5. ZAKLJUČAK ... 50
LITERATURA ... 52
Popis i opis upotrijebljenih kratica ... 58
Sažetak ... 60
Abstract ... 60
Životopis ... 61

# 1. UVOD

Fraza "pametni grad" predstavlja viziju urbanog razvoja koja integrira suvremenu komunikacijsku tehnologiju i Internet stvari u cilju upravljanja gradskom imovinom. Pri tome riječ "imovina" treba uzeti i u informacijskom, a ne samo u fizičkom smislu. Pametni grad pomaže upravljanju lokalnim informacijskim sustavima, školama, prijevoznim sustavom, knjižnicama, bolnicama, energetskim postrojenjima, upravljanjem otpadom i općenito komunalnim uslugama u širem smislu. Cilj izgradnje pametnog grada je unaprijediti kvalitetu života korištenjem urbanih informacijskih sustava i tehnologija, povećanjem učinkovitosti usluga i ispunjavanjem potreba korisnika. Ogroman napredak u komunikacijskim tehnologijama omogućio je objektima pametnog grada međusobnu interakciju, istovremeno osiguravajući mrežnu povezivost. Međutim, današnje komunikacijske tehnologije ne mogu pružiti besprijekornu povezanost u pametnim gradovima zbog koegzistencije tisuća uređaja, što dovodi do nekoliko problema.Ti problemi se nastoje riješiti kroz razvoj većeg broja novih i inovativnih bežičnih komunikacijskih tehnologija.

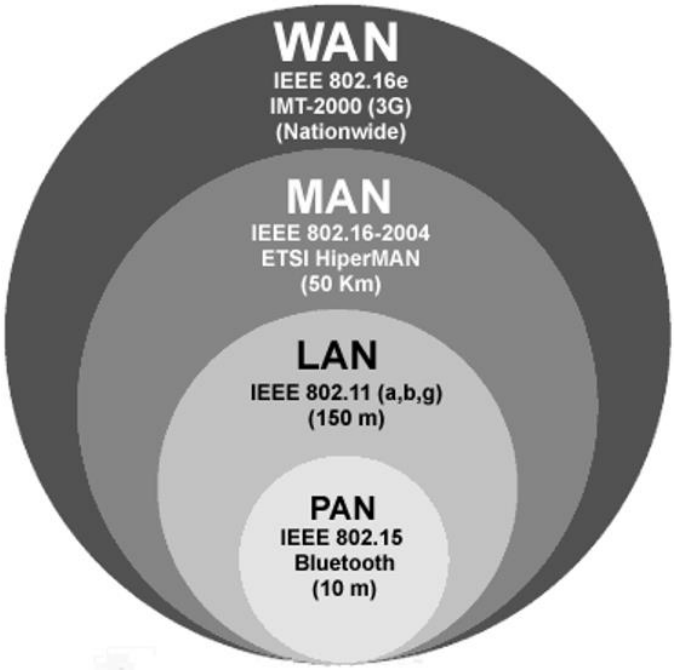
## 1.1. Zadatak završnog rada

Okruženje pametnog grada u kojem je potrebno ostvariti povezivost i komunikaciju između ogromnog broja heterogenih objekata postavlja vrlo stroge i specifične zahtjeve na bežične komunikacijske tehnologije. Tim zahtjevima nastoji se udovoljiti kroz razvoj većeg broja novih i inovativnih bežičnih komunikacijskih tehnologija. Potrebno je sustavno i analitički istražiti postojeće bežične komunikacijske tehnologije primjenjive u okruženju pametnog grada, međusobno ih usporediti, te istaknuti smjernice njihovog daljnjeg razvoja i integracije. Potrebno je analizirati neke postojeće primjere primjene ovih tehnologija za podršku različitim vrstama usluga u okruženjima pametnog grada. Konačno, potrebno je detaljnije razraditi mogući scenarij primjene ovih tehnologija u Republici Hrvatskoj (case study).

# 2. SUVREMENE BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE

Glavna svrha pretvorbe grada u pametni grad jest kvalitetnije i brže pružanje usluga stanovnicima u raznim životnim situacijama, a to je moguće samo kada je stanovnicima osigurana besprijekorna povezanost. Neke od usluga pametnih gradova koje zahtijevaju visoku preciznost posebno zahtijevaju visoku kvalitetu komunikacijskih tehnologija. Naprimjer, u slučaju pametnog prijevoza, jedne od usluga pametnih gradova, latencija u mreži može izazvati ozbiljne probleme. Stoga su definirani neki ciljevi za komunikacijske tehnologije pametnih gradova: visoka stabilnost veze, iznimno visoka učinkovitost spektra, prijenos podataka visokim brzinama i niska potrošnja energije. Zadaća komunikacijskih tehnologija jest omogućavanje povezanosti između raznovrsnih pametnih uređaja. U ključne tehnologije ubrajamo: WLAN (WiFi), WiMAX, LTE, LTE-A, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave te LoRaWAN.

Mreže pametnih gradova mogu se svrstati u tri klase: WPAN, WLAN i bežičnu mrežu gradskog područja (WMAN). WPAN se temelji na IEEE 802.15 standardu i koristi se za povezivanje pojedinih uređaja na radnom mjestu pojedinca. ZigBee, Z-Wave i Bluetooth su neki od primjera WPAN tehnologija, dok WLAN povezuje dva ili više uređaja međusobno u kraćem dometu (npr. pametna kuća i pametan parking ). Štoviše, IEEE 802.11 standardi definiraju većinu WLAN tehnologija i poznati su kao Wi-Fi. Nasuprot njima, WMAN je namijenjen za pokrivanje velikih područja odnosno grada ili regije. Topologija WMAN-ova su *point-to-point* ili *point-to-multipoint* mreže. WMAN obično posjeduje jedan entitet, poput davatelja internetskih usluga (ISP), vlade ili poduzeća. Pristup WMAN-u moguće je ostvariti isključivo pretplatom na uslugu. IEEE 802.16 standardi definiraju nekoliko tehnologija za WMAN od kojih su najbitnije WiMAX, LTE i LTE-A.Uz njih imamo i LoRaWAN koji je dizajniran za pružanje WAN-ova s niskom potrošnjom energije što je vrlo bitno kod WSN mreža i postizanja niskih cijena troškova. Navedene komunikacijske tehnologije mogu se koristiti u većini usluga pametnih gradova, kao što su pametno mjerenje, pametna ulična rasvjeta, pametne kuće, pametno praćenje zdravlja, pametan prijevoz, itd [1].




Slika 2.1. Grafički prikaz dometa pojedinih standarda [2]

Slika 2.1 grafički prikazuje domet pojedinih mrežnih tehnologija. WLAN tehnologije, kao što su one na kojima se temelji Wi-Fi, vrlo su uspješne u pružanju povezanosti do udaljenosti od 150 metara, a tehnologije poput Bluetooth-a, Z-wave-a i ZigBee-a omogućuju povezivost unutar 10 metara odnosno stvaranje PAN mreže. Nasuprot njima, vidimo kako standard 802.16 predstavlja nacionalne mobilne mreže i pružatelje satelitskih veza, dvije površinski najveće mreže.

## 2.1. Wi-Fi

Wi-Fi je drugi naziv za 802.11 standard definiran od IEEE zajednice. Bežična mreža je vrlo slična onoj žičnoj uz bitnu razliku što uređaji ne koriste kabele za povezivanje s usmjerivačima i ostalim korisnicima [3]. Stoga uređaji ne trebaju imati priključke, samo antene koje se mogu nalaziti i unutar samog uređaja.

Kako bi se kreirala Wi-Fi veza, potrebno je imati pristupnu točku i Wi-Fi klijenta.Pristupna točka (AP) je središnji uređaj koji odašilje signal kako bi se Wi-Fi klijenti mogli povezati. Svaka bežična mreža, poput onih koje vidimo na zaslonu mobitela dok prolazimo gradom, pripada jednoj pristupnoj točki. Wi-Fi klijent ili WLAN klijent je uređaj koji može detektirati emitirani signal pristupne točke, povezati se s njim te održavati vezu. Svi

suvremeni uređaji poput prijenosnika, telefona, tableta, televizora, dolaze s ugrađenim Wi-Fi sučeljem. Istovremeno starije uređaje poput stolnih računala možemo nadograditi Wi-Fi sučeljem pomoću USB ili PCIe Wi-Fi adaptera.

Kada definiramo Wi-Fi tehnologiju moramo uzeti još dvije bitne karakteristike u obzir. To su Wi-Fi domet i frekvencijski pojas. Domet je radijus Wi-Fi signala do kojeg pristupna točka može emitirati signal. Obično je to oko 50 metara, ali se ta udaljenost mijenja ovisno o snazi uključenih uređaja, okolišu, i najvažnije, Wi-Fi standardu. Frekvencijski pojasevi karakteriziraju radio frekvencije korištene kod Wi-Fi standarda, najčešće su to 2,4 GHz i 5 GHz. Veća frekvencija nudi brži protok podataka, ali i manji domet od 2,4 GHz. Ovisno o standardu, neki Wi-Fi uređaji mogu koristiti i oba frekvencijska pojasa, njih nazivamo dvopojasni uređaji.

Wi-Fi standardi određuju brzinu i domet Wi-Fi mreže. Uobičajeno je da su noviji standardi kompatibilni sa starijim verzijama. Ima ih nekolicina, a objasnit ćemo osnovne te one u razvoju koji mogu pomoći komunikaciji u pametnom gradu.

Prvi komercijalni standard je bio 802.11b. Maksimalna brzina je bila 11Mbps i radio je na 2,4 GHz frekvencijskom pojasu. Istovremeno kad i 802.11b, definiran je 802.11a standard. S nešto većom brzinom od 54 Mbps te radom na frekvenciji od 5 GHz, što je zahtijevalo skuplje čipove [4] te stoga nije bio toliko popularan. Nakon njih dolaze 802.11g te dvopojasni standard 802.11n, odnosno Wireless-N koji je dostupan od 2009. godine te je još uvijek najpopularniji Wi-Fi standard. Najnoviji Wi-Fi standard 802.11ac, nazvan i 5G Wi-Fi, djeluje samo na frekvenciji od 5,8 GHz te nudi brzine od 1 Gbps do čak 7 Gbps [5].

Koliko god tehnički dobro zvučale karakteristike suvremenih standarda, u praksi već danas nailazimo na mnoge poteškoće. Wi-Fi uređaji rade u sve zagušljivijim prostorima, bili to vlastiti domovi, tvrtke ili stadioni. Uređaji na malom prostoru stvaraju interferencije koje uzrokuju značajan pad mrežnih kapaciteta. Kako tehnologija napreduje, a gradovi se okreću pametnim gradovima, problemi će se sve više pogoršavati jer se do 2020. godine očekuje kako će samo u domaćinstvima biti više od 20 Wi-Fi uređaja [6]. Nažalost, standard 802.11ac nije predviđen za rješavanje tih smetnji pa znanstvenici moraju implementirati novi standard koji će zadovoljiti potrebe masovnog broja Wi-Fi uređaja.

Provedena je anketa o novoj Wi-Fi tehnologiji koja se temelji na IEEE 802.11ah standardu koji je trenutno u razvoju za pametni grad [1]. Cilj istraživanja je bio raspraviti o komunikacijskim tehnologijama koje se koriste u pametnim gradovima. Znanstvenici su raspravljali kako je Wi-Fi

tehnologija u današnje vrijeme vrlo prilagođena u svijetu, ali nije pogodna za okruženja u kojima se veliki broj uređaja povezuje jedan s drugim, kao u slučaju pametnog grada. Iz tog razloga, odbor za standarde je osnovao IEEE 802.11ah standard kako bi proširio područje primjenjivosti 802.11 mreža projektiranjem energetski učinkovitog protokola koji omogućuje da tisuće uređaja rade istovremeno na uskom području. Međutim, nedostatak odgovarajućih mehanizama interferencije može otežati realizaciju novog standarda.

## 2.2. WiMAX

WiMAX je bežična tehnologija temeljena na IEEE 802.16 standardu [7]. Iako funkcionira koristeći slične principe kao Wi-Fi mreža, osigurava drastično veći domet signala. Umjesto 100 metara, WiMAX ima radijus i do nekoliko desetaka kilometara, dovoljno velik da pokrije dijelove većih gradova. Standard 802.16 namijenjen je za brzine od 30 do 40 megabita u sekundi, a nadogradnjom na standard 2011 teoretska brzina dostiže 1 Gbps [8]. WiMAX se najčešće koristi u dijelovima grada gdje ne dosežu telekomunikacijski vodovi ili nema radiokomunikacijske pokrivenosti. Izgradnja i montiranje WiMax bazne stanice je puno isplativija nego postavljanje telekomunikacijskih vodova.

Za povezivanje putem WiMAX-a potrebno je imati WiMAX toranj, odnosno baznu stanicu te WiMAX prijemnik koji se integrira u elektroničke uređaje. Bazna stanica je mjesto odakle se emitiraju WiMAX signali. Radi na sličnom principu poput GSM mrežnih baznih stanica [9]. WiMAX prijemnik je uređaj koji prima signale s bazne stanice i povezuje se s WiMAX mrežama. Povezivanje s WiMAX baznim postajama funkcionira slično kao povezivanje s Wi-Fi pristupnim točkama uz razliku što WiMAX pokriva puno veće područje.

Kako bi se postigla što veća brzina, WiMAX tehnologija koristi dvije ključne tehnologije pri obradi signala [7]: OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) i MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). OFDM je ugrađen u WiMAX tehnologiju kako bi se omogućio prijenos podataka visokim brzinama bez selektivnog *fadinga* i drugih problema pri prijenosu signala. Također koristi i MIMO metodu odnosno višestruku propagaciju. Korištenjem višestrukih putanja određenog signala, uporaba MIMO metode omogućuje ili rad s nižim razinama jakosti signala ili omogućuje veće brzine prijenosa podataka.

Kao i kod 802.11 standarda, i 802.16 standard ima svoje inačice čiji je cilj poboljšati karakteristike i osigurati veću primjenu WiMAX-a. Nabrojat ćemo one osnovne i najbitnije za daljnji razvoj.

Godine 1999. IEEE zajednica je definirala standard 802.16. WiMAX je izdan 2001. godine, ali je imao mali domet i bio ograničen samo na izravne transmisije odnosno vidljive veze. Takve bazne stanice odašilju frekvencije od 10 GHz do 66 GHz. Veće frekvencije osiguravaju manje interferencije i veću propusnost, ali manji domet. Također 2001. godine pokrenut je WiMAX forum koji je promovirao korištenje 802.16 standarda. Ovaj forum je neprofitna organizacija koja se sastoji od članova više od 520 tvrtki koje dijele sličan cilj da integriraju WiMAX tehnologije u tvrtke i potrošače širom svijeta [10].

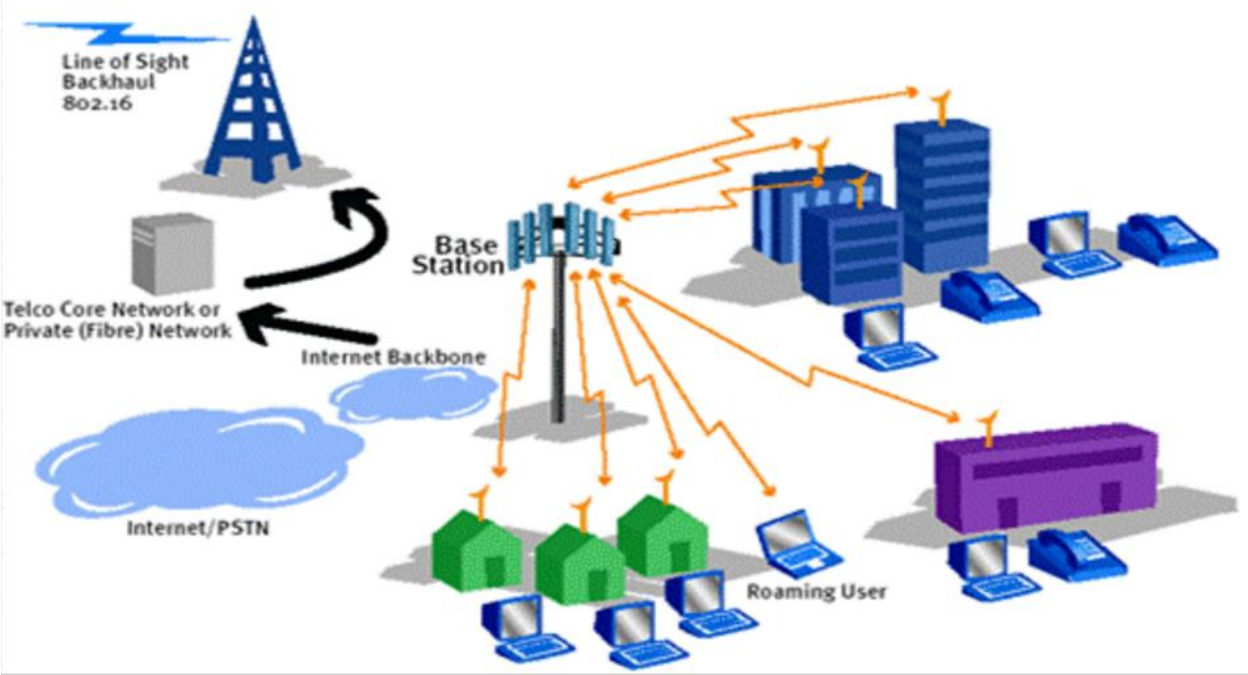
Nedugo nakon definiranja prvog standarda rasla je potreba za novom verzijom koja neće biti ograničena na isključivo izravne vidljive veze. 2003. godine definira se 802.16a standard koji radi na nešto manjoj frekvenciji spektra od 2 GHz do 11 GHz [11]. Uklonjen je problem vidljive veze, ali prijemni uređaj je i dalje morao biti fiksiran na neko mjesto tj. nemoguće je bilo održati mobilnu povezanost na WiMAX-u.

Najveći razvoj WiMAX je doživio 2005. godine kada je izdan standard 802.16e koji je i danas aktualan. To je prvi mobilni WiMAX sustav. Štoviše, uspio je zamijeniti prethodne IEEE standarde 802.16-2001, 802.16c-2002, i 802.16a-2003.Ova verzija 802.16e standarda omogućuje ugradnju tehnologije u prijenosna i tablet računala, pametne telefone i potrošačke elektroničke uređaje.

WiMAX tehnologija nastavlja rasti i uskoro ćemo vidjeti još veće brzine i veću pokrivenost jer dalje inovira internetske mogućnosti. Općine imaju složene komunikacijske potrebe i često se bore protiv oslanjanja na zastarjele sustave. Gradovi trebaju uravnotežiti želju za boljim i učinkovitijim načinima upravljanja imovinom, pružanju usluga svojim građanima i zaštiti podataka. Kako bi ostvarili te ciljeve, zahtijevaju dobro definiranu tehnologiju s čvrstim ekosustavom i robusnim mogućnostima učitavanja.

WiMAX tehnologija je pogodno bežično rješenje za općine i gradove koji sudjeluju u projektima pametnog grada [12]. Tehnologija je već iskorištena za upravljanje svim aspektima pametnog grada: od upravljanja imovinom (policijska vozila, autobusi, vlakovi, vozila vučnih službi, vozila hitne pomoći itd.) do knjižnica, upravljanja prometom i gradskom sigurnošću i još mnogih usluga. WiMAX mreže mogu se koristiti za očitavanje brojila pametnog napajanja,

upravljanje prometnim svjetlima, daljinsko povezivanje s kamerama za video nadzor, automatizirano korištenje kreditnih kartica za parkirne stanice u gradu i još mnogo toga.




Slika 2.2.1 Prikaz WiMAX mreže [13]

## 2.3. LTE

Prošlo je tek nekoliko godina od prve LTE mreže, a danas gotovo svi mobilni uređaji podržavaju LTE tehnologiju. Razvijena od strane 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), bežična tehnologija LTE (*Long Term Evolution*) je nasljednik tehnologija 3G UMTS i HSPA koja pruža mnogo veće brzine prijenosa podataka i ujedno postavlja temelj za daljnji razvoj LTE-Advanced tehnologije. 3G LTE omogućuje postizanje mnogo veće brzine prijenosa uz znatno niže kašnjenje paketa (sve veći zahtjev za mnoge usluge današnjice), te omogućuje mobilnim komunikacijskim uslugama napredovanje kako bi se zadovoljile potrebe za mobilnom tehnologijom.

LTE tehnologija je također bazirana na IP protokolu podržavajući oba IPv4 i IPv6 standarda [14]. Također je uvela niz novih tehnologija u usporedbi s prethodnim mobilnim sustavima koje omogućuju LTE-u učinkovitiji rad u pogledu uporabe spektra, a i da osiguraju mnogo veće brzine prijenosa podataka koji su potrebni. OFDM tehnologija ugrađena je u LTE radi učinkovitijeg prenošenja većih podataka, a još uvijek pruža visok stupanj elastičnosti

refleksijama i smetnjama. OFDMA se koristi u dolaznoj liniji (*downlink*), dok se za odlaznu liniju (*uplink*) koristi SC-FDMA. Kao i kod WiMAX-a, LTE također koristi MIMO tehnologiju, s tim da je tada potrebno koristiti više antena kako bi se omogućilo razlikovanje različitih paketskih puteva. Na kraju, kako bi LTE postigao vrlo visoke brzine prijenosa i udovoljio zahtjevima niske latencije, bilo je potrebno razviti arhitekturu sustava SAE (*System Architecture Evolution*) koja bi to sve omogućila. Jedna od promjena je ta da su brojne funkcije koje je prije rukovodila jezgrena mreža prenesene na periferiju. U osnovi, tehnologija osigurava mnogo glađi oblik mrežne arhitekture te tako uvelike smanjuje latencije, a podaci se mogu usmjeriti izravnije na odredište [14].

| Parametar | Opis |
|---|---|
| Vršna brzina preuzimanja 64QAM (Mbps) | 100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO) |
| Vršna brzina slanja (Mbps) | 50 (QPSK), 57 (16QAM), 86 (64QAM) |
| Vrsta slanja podatka | Komutacija paketa (glasovni i podatkovni) |
| Širina kanala (MHz) | 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 |
| Dupleks sheme | FDD i TDD |
| Mobilnost | 0-15 km/h (optimalno), 15-120 km/h (visoka performansa) |
| Kašnjenje | Iz stanja mirovanja u aktivno – 100 ms, inače 10 ms |
| Vrste modulacija | QPSK, 16QAM, 64QAM |

Tablica 2.3.1 [14]

Specifikacije iz tablice 2.3.1 daju pregled izvedbe koju nudi LTE. One zadovoljavaju zahtjeve industrije za brzinu preuzimanja kao i za smanjenje kašnjenja paketa, važnog čimbenika za mnoge aplikacije od VoIP-a do video-igara i interaktivne upotrebe podataka.

Danas u svijetu 3G mreže su sveprisutne, a i pokrivenost 4G LTE-A tehnologijom se širi. Mobilni operateri također vode računa o evoluciji tehnologije prema 5G standardima [15]. Kako se evolucija mreže nastavlja tako i pametni gradovi moraju držati korak s promjenama i biti spremni povećavati mrežne kapacitete kako bi se prilagodili očekivanom eksponencijalnom povećanju podatkovnog prometa. Trenutačna dostupnost 3G i sve veća implementacija LTE-A stvaraju čvrste temelje za projekt pametnog grada. Mobilne tehnologije se brzo razvijaju zahvaljujući puno široj populaciji koja se služi njima za razliku od samih početaka kada su

prvenstveno tehničari i inženjeri koristili napredne tehnologije. To stvara odličan uvjet za pozicioniranje pametnog grada i povezivanja inovativnih tehnologija s vlastitim poslovima pojedinca te angažiranje građana na nove i inovativne načine kako bi izbjegli loše korisničke doživljaje koje danas ljudi imaju u nekim gradovima.

## 2.4. LTE-A

Telekomunikacijska industrija doživjela je znatno smanjenje troškova u usporedbi s vremenom kada je tek nastala, što je dovelo potrošače da očekuju bolje performanse u usporedbi s primjetnim smanjenjem troškova. U brzo promjenjivom području bežičnih komunikacija, stručnjaci su razvili jedan od najnovijih telekomunikacijskih standarda, LTE-A, kako bi poboljšali brzine prijenosa podataka i smanjili latenciju mreže [16].

Implementacija 4G mobilnih sustava baziranih na 3GPP LTE tehnologiji je u tijeku na globalnoj razini. Dakle, kako bi se učinkovito zadovoljile sve veće potrebe korisnika, tehnologija LTE nikad se nije prestala širiti i postupno razvijati. Evolucija LTE-A uglavnom je inicijalizirana pojavom 3GPP Release 10 (Rel-10) 2010. godine, poznatog kao LTE-A, što je zapravo poboljšanje standarda Rel-8 i Rel-9. Neki od glavnih ciljeva kojima teži LTE-A mogu se vidjeti u tablici 2.4.1. Njihove stvarne brojke i njihova stvarna implementacija trebat će se razraditi tijekom faze specifikacije sustava.

| | |
|---|---|
| Brzina preuzimanja | 1 Gbps |
| Brzina slanja | 500 Mbps |
| Učinkovitost spektra | 3 puta veća od 3G LTE |
| Kašnjenje | < 5 s |
| Mobilnost | Kao kod LTE |

Tablica 2.4.1 [17]

Prijelaz na 4G tehnologiju postiže se pružanjem usluga korištenjem tehnologija FDD i TDD razvijenih za 4G te korištenjem istih frekvencijskih pojaseva kao i za 3G. FDD koristi dva različita kanala: jedan za odašiljanje i jedan za primanje podataka, što daje više kapaciteta za LTE mreže. S druge strane, TDD koristi jednu frekvenciju za prijenos podataka asinkrono. U oba slučaja, tehnike se temelje na različitim frekvencijama za operatera koji iskorištava obje.

Osim što se bazira na tehnologijama OFDM i MIMO, kao i prethodnik 3GPP LTE, LTE-A koristi još neke kako bi ostvarila potrebnu brzinu prijenosa podataka [17].

CA (*Carrier Aggregation*): Budući da mnogi operateri nemaju dovoljno spektra kako bi osigurali potrebne širine pojasa za vrlo velike brzine prijenosa podataka, razvijena je shema poznata kao agregacija prijenosnika. Koristeći ove tehnologije operatori mogu koristiti više kanala u različitim područjima spektra kako bi se osigurala potrebna širina pojasa.

CoMP (*Coordinated Multipoint*): Jedan od ključnih problema s mnogim mobilnim sustavima su slabe performanse na rubovima dometa signala. Interferencija susjednih uređaja zajedno sa slabom kvalitetom signala dovodi do smanjenja brzina prijenosa podataka. Za LTE-A je uvedena shema poznata kao koordinirani *multipoint*. CoMP zahtijeva blisku koordinaciju između nekoliko geografski odvojenih baznih stanica. One dinamički koordiniraju kako bi osigurale zajedničko raspoređivanje i prijenos, kao i dokazivanje zajedničke obrade primljenih signala. Na taj se način uređaj na rubu dometa signala može služiti s dvije ili više stanica za poboljšanje prijama i prijenosa signala.

LTE *Relaying*: Tehnologija koja omogućuje da se signali prosljeđuju udaljenim stanicama s glavne bazne stanice radi poboljšanja pokrivenosti. LTE odašiljanje se razlikuje od upotrebe *repeatera* koji ponovno emitira signal. Relej će primiti, demodulirati i dekodirati podatke, ispraviti pogreške, a zatim ponovno emitirati novi signal. Na taj način kvaliteta signala se pojačava pomoću LTE releja, umjesto da trpi degradaciju od smanjenog omjera signala i šuma pri korištenju *repeatera*.

D2D (*Device to Device*): Tehnika koju je zatražio veći broj korisnika, a posebno hitne službe. D2D bi omogućio izravnu povezanost između dva ili više uređaja. Omogućuje prijenos velikih količina podataka s jednog uređaja na drugi na kratke udaljenosti i pomoću izravne veze. Ovaj oblik prijenosa omogućio bi prijenos podataka bez potrebe da se uređaji prvo povežu na mobilnu mrežu, čime se izbjegavaju problemi s preopterećenjem mreže.

Dok se vrši implementacija LTE-A, pojam 5G je vrlo zanimljiv i za istraživače i industrijske korisnike i svojim pojavljivanjem će oduševiti tržište širom svijeta. Može zvučati prerano da već raspravlja o nadolazećem 5G jer LTE-A još nije globalno raširen. Međutim, rast zahtjeva korisnika bio je ogroman tijekom proteklih nekoliko godina koji su prisilili znanstvenike da ulože više istraživačkih napora kako bi pronašli bržu i napredniju tehnologiju, odnosno 5G.

Kako pojam pametnog grada predstavlja okruženje u kojem su sve gradske imovine praktički povezane i elektronički upravljane. Za takve primjene potrebno je povezati ogroman broj autonomno upravljanih uređaja s malim troškovima (senzori, aktuatori) na fizičke predmete [18]. Komunikacija između ovih autonomno upravljanih uređaja naziva se MTC (*Machine-type Communications*), a MTC uređaji (MTCD) čine sastavni dio pametnog gradskog okruženja. S druge strane, zbog zahtjeva mobilnosti, proširenog područja pokrivanja, sigurnosti, različite kvalitete usluge (QoS), itd., veliki postotak MTCD-a trebat će se izravno povezati s mobilnim mrežama. OFDMA temeljene LTE tehnologije su glavne mobilne tehnologije koje će morati podržavati MTC aplikacije u pametnim gradovima.

## 2.5. Bluetooth

Ideja za Bluetooth-om prvi put se pojavila 1994. godine, a svrha je bila omogućiti prijenos podataka bez upotrebe žica. No trebalo je proći još 4 godine kako bi tim inženjerskih radnika tvrtke Ericsson patentirao i službeno pokrenuo novu bežičnu tehnologiju [19]. 1999. godine definiran je prvi Bluetooth 1.0 standard, a godinu kasnije su se pojavile prve Bluetooth slušalice. Valja istaknuti kako je Bluetooth danas upravljan od strane *Bluetooth Special Interest Group* (SIG), a IEEE zajednica je standardizirala Bluetooth kao IEEE 802.15.1 standard.

Bluetooth® je bežična tehnologija male potrošnje koja se koristi za prijenos podataka između dva ili više uređaja. Postoje dvije vrste Bluetooth tehnologije, BR/EDR (*Basic Rate/Enhanced Data Rate*) te BluetoothLE (*Low Energy*) predstavljen u standardu Bluetooth 4.0.Bluetooth BR/EDR je ograničen u pogledu raspona, ali je prikladniji kod većih podataka zbog bržeg prijenosa, dok Bluetooth LE ima više potencijala za korištenje u Internetu stvari (IoT), gdje su potrebni manji podaci i gdje je očuvanje energije važnije. Također je jeftin za implementaciju, što je vrlo bitna karakteristika pri odabiru tehnologije za pametni grad.

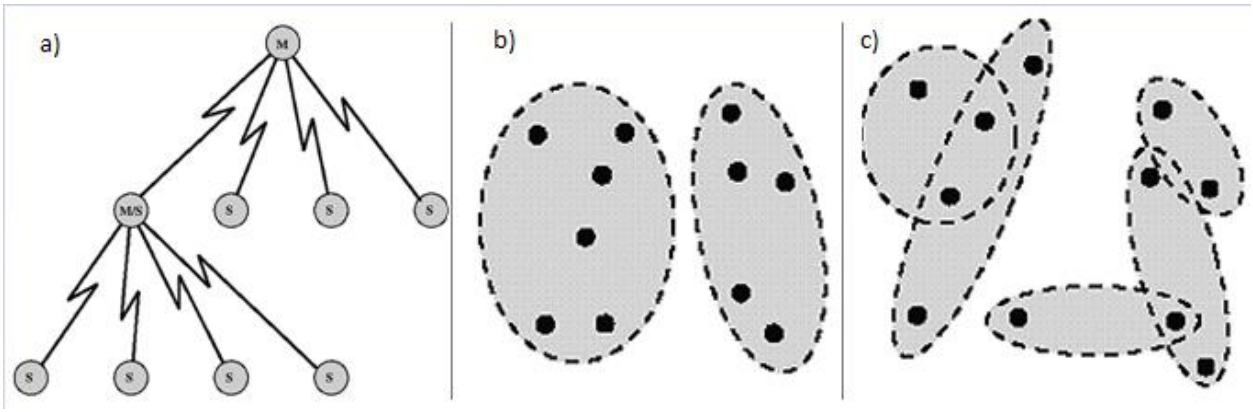
BR/EDR omogućuje neprekidnu bežičnu vezu i koristi topologiju mreže točka-točka (PPP) za uspostavljanje veze 1:1 između dva uređaja. Ova inačica tehnologije je idealna za bežične zvučnike, slušalice i hands-free sustave u automobilu [20]. Bluetooth LE je novija inačica tehnologije poznata i pod nazivom Bluetooth Smart. Za razliku od BR/EDR, ova verzija koristi više mrežnih topologija, uključujući tipove točka-točka (PPP), *Broadcast* i *Mesh*. *Broadcast* je vrsta topologije koja uspostavlja vezu od jednog naprama više uređaja (1:m), dok *Mesh*(P2P) topologija stvara velike mreže uređaja m:m prilagođene za automatizaciju zgrade,

mreže senzora, praćenje imovine i svako rješenje gdje više uređaja trebaju pouzdano i sigurno komunicirati jedni s drugima.

Pomoću Bluetooth-a se šalju i primaju signali u rasponu od 79 različitih frekvencija (kanala) centriranih na 2,45 GHz. Frekvencijski pojas je odijeljen od radija, televizije i mobitela te rezerviran za uporabu industrijskih, znanstvenih i medicinskih naprava.

Bluetooth uređaji automatski se prepoznaju i međusobno povežu, a do osam njih može komunicirati u bilo kojem trenutku. Oni se ne interferiraju jedni s drugima jer svaki par uređaja koristi jedan od 79 dostupnih kanala [21]. Ako dva uređaja žele razgovarati, slučajno odabiru kanal, a ako je kanal već zauzet prebace se na neki od drugih (tehnika poznata pod nazivom *spread-spectrum frequency hopping*). Kako bi se smanjio rizik od smetnje drugih uređaja, povezani uređaji mijenjaju frekvenciju koju upotrebljavaju i do tisuću puta u sekundi.

Kada grupa od dva ili više Bluetooth uređaja zajednički razmjenjuje informacije, oni formiraju neku vrstu ad-hoc mreže koja se zove pikonet (Slika 2.5.1 b)). Drugi uređaji mogu se pridružiti ili napustiti postojeći pikonet u bilo kojem trenutku. Jedan uređaj (poznat kao *Master*) djeluje kao cjelokupan kontrolor mreže, dok drugi (poznati kao *Slave*) poštuju njegove upute (prikazano na slici 2.5.1 a)). Dva ili više zasebna pikoneta također se mogu povezati i dijeliti informacije u mreži koja se tada naziva *scatternet* (Slika 2.5.1 c)).



Slika 2.5.1. Grafički prikaz Bluetooth mreže[22]

Klasična verzija BR/EDR ima brzinu prijenosa podataka od 0,7 do 2,1 Mbps te domet od 100 metara, iako su u praksi te brojke nešto manje. Nasuprot tome, Bluetooth LE zbog svojeg svojstva niske potrošnje ima dvostruko manji domet te brzinu od 0,27 Mbps. U lipnju 2016. godine Bluetooth SIG je predstavio novu verziju Bluetooth 5 čije će značajke uglavnom biti usmjerene u tehnologiju Interneta stvari (IoT).

Prostor za implementaciju Bluetooth LE tehnologije u pametnom gradu itekako postoji. Ali unatoč superiornosti niske potrošnje energije BLE, ima nekoliko izazova koji se moraju riješiti u sljedećoj Bluetooth 5 verziji kako bi se mogla potpuno primijeniti u IoT i M2M komunikaciji. Za velike količine komunikacije u IoT i M2M okruženju s BLE uređajima potreban je višenamjenski protokol usmjeravanja za prijenos podataka u kratkim intervalima od izvora do odredišta izvan radijske pokrivenosti. Posebno, neke usluge kao što su nadzor okoline ili sigurnosne aplikacije, koristeći BLE tehnologiju, zahtijevaju čest ili povremeni prijenos podataka kako bi prijavili promjenu. Možemo razmotriti jedan scenarij koji zahtijeva dalekosežni komunikacijski sustav za prijenos jednostavnih kratkih poruka. Ad-hoc okruženja uzrokovana katastrofama poput potresa, tsunamija i poplava zahtijevaju i alternativni komunikacijski sustav odmah, jer su nove infrastrukture već srušene zbog katastrofa. U tom scenariju, BLE *multihop* komunikacija je dobro alternativno rješenje za slanje kratkih poruka jer broj korisnika pametnih telefona u svijetu iznosi oko 3,9 milijardi (gotovo 50% svjetske populacije) 2016. godine, a većina pametnih telefona i drugih uređaja kao što su tableti i prijenosna računala već ugrađuju BLE tehnologiju. [23]

## 2.6. ZigBee

ZigBee je bežična tehnologija (WPAN)dizajnirana za daljinsko upravljanje i senzorske uređaje bazirana na IEEE 802.15.4 standardu.Standard je osnovan pod pokroviteljstvom grupa ZigBee Alliance. Glavne značajke standarda podrazumijevaju uključivanje i isključivanje radijskog primopredajnika, detekciju energije unutar kanala, odabir kanala te odašiljanje i primanje podataka preko fizičkog medija.

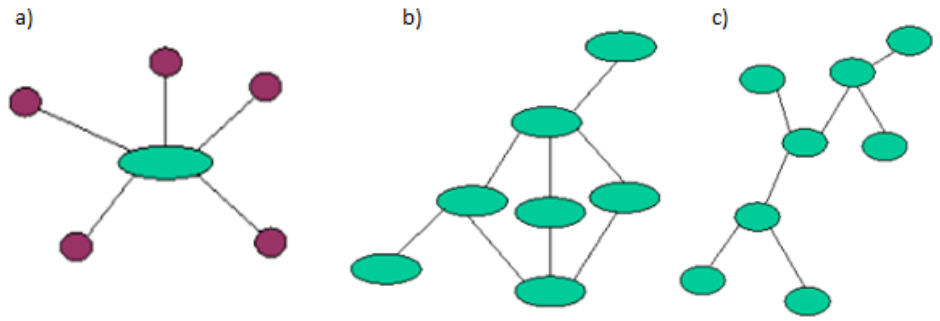
Sustav je dizajniran za rad u jednom od tri frekvencijska spektra. 915 MHz u Sjevernoj Americi i Australiji, 868 MHz u Europi te 2,4 GHz u ostatku svijeta. Na taj način standard je dostupan u cijelom svijetu, iako su specifikacije za pojedine dijelove svijeta odnosno frekvencijske pojaseve različite, što je prikazano u tablici 2.6.1.

| Frekvencija (MHz) | Vrsta modulacije | Broj kanala | Brzina (Kbps) |
|---|---|---|---|
| 868-868,6 | BPSK | 1 | 20 |
| 902-928 | BPSK | 10 | 40 |
| 2400-2483,5 | 16QPSK | 16 | 250 |

Tablica 2.6.1 Specifikacije za pojedini frekvencijski pojas

Podaci se šalju pomoću paketa čija veličina ne prelazi 1024 bita. To je vrlo nisko u usporedbi s drugim bežičnim sustavima, ali usluge gdje se primjenjuje ZigBee niti ne zahtijevaju vrlo visoku brzinu prijenosa podataka. Standard podržava 64-bitne IEEE adrese kao i kratke 16-bitne adrese. 64 bitne adrese jedinstveno identificiraju svaki uređaj pomoću jedinstvene IP adrese svakog uređaja na isti način na koji uređaji imaju jedinstvenu IP adresu [24]. Jednom kada se uspostavi mreža, mogu se koristiti 16-bitne adrese, a to omogućuje podršku više od 65 000 uređaja, za razliku od Bluetooth-a koji podržava 7.

ZigBee podržava tri različite topologije mreže, a to su zvijezda, P2P i grozd (*cluster*) mreža. Svaka od njih ima svoje prednosti koje se mogu iskoristiti u različitim situacijama. Najčešće se koristi mreža zvijezda (Slika 2.6.1 a)) koja ima prednost jednostavnosti. Formirana je u obliku zvijezde s vanjskim čvorovima koji komuniciraju sa središnjim. P2P (Slika 2.6.1 b)) mreže omogućuju postizanje višeg stupnja pouzdanosti tako što se sastoje od različitih čvorova postavljenih po potrebi, a manji čvorovi mogu komunicirati jedni s drugima kako bi oblikovali mrežu. Poruke se mogu usmjeravati preko mreže pomoću različitih postaja kao releja. Obično postoji izbor ruta kojim poruka može putovati što sustav čini robusnim i ujedno otpornijim na smetnje. Na kraju kombiniranjem tih dviju mreža dobijemo *cluster* mrežu (Slika 2.6.1 c)).




Slika 2.6.1 Mrežne topologije [25]

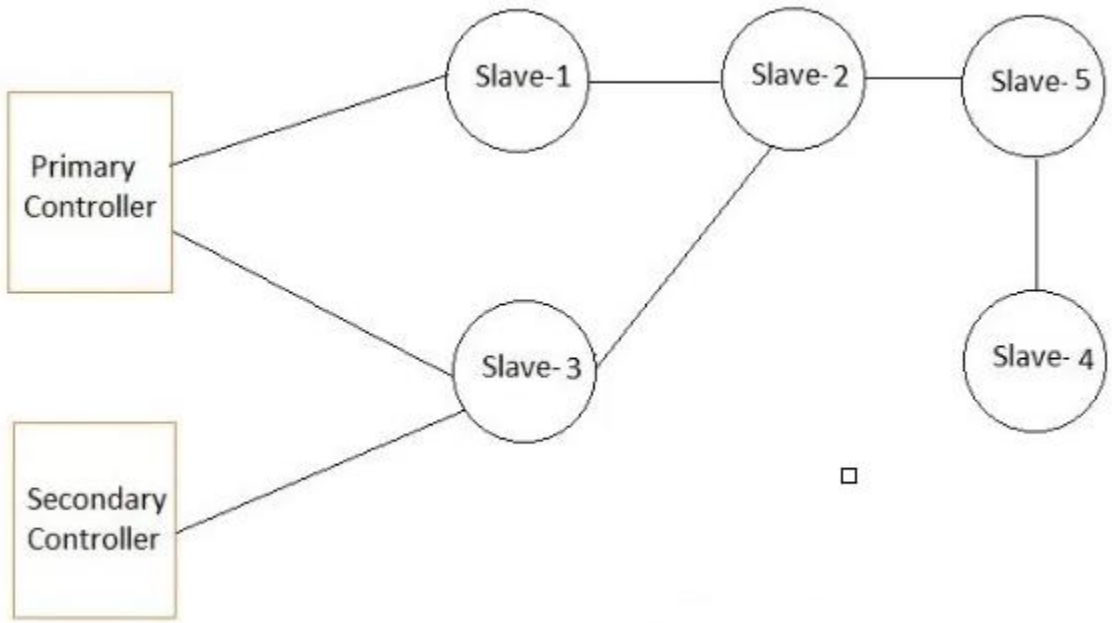
ZigBee sustavi mogu raditi u jako zagušenim okruženjima gdje je razina interferencije s ostalim uređajima vrlo visoka. Stoga je standard 802.15.4 ugradio niz mogućnosti kako bi se osigurala izuzetno pouzdana funkcionalnost što uključuje procjenu kvalitete te otkrivanje energije prijemnika kao i tehnologiju CSMA/CA (*Carrier-Sense Multiple Access with collision avoidance)* koja omogućuje izbjegavanje interferencije. Baziranje tehnologije na malim snagama omogućio je da se trajanje baterije obično mjeri u godinama, čime sustav ne zahtijeva često održavanje.

Nažalost, problemi koegzistencije između ZigBee i 802.11 mreže (WiFi) koje djeluju u istom frekvencijskom području mogu znatno degradirati rad ZigBee mreže. Stoga, sa sve većom implementacijom pametnih bežičnih uređaja u istom okruženju, pomažemo da se prekomjerno nadopunjuju dodatne interferencije što smanjuje performansu ove mreže, a ta je degradacija vrlo izražena za ZigBee sustav [26].

## 2.7. Z-Wave

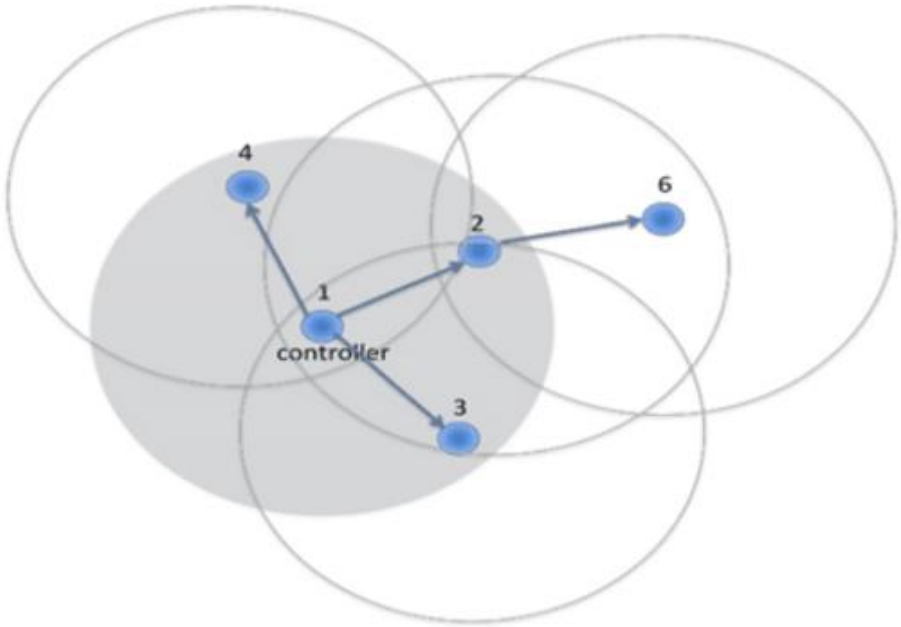
Z-wave je bežična komunikacijska tehnologija razvijena od zajednice *Zensys* prvenstveno namijenjena za automatizaciju i nadgledanje IoT uređaja unutar domaćinstva. Tehnologija se bazira prvenstveno na P2P topologiji omogućujući bežičnu kontrolu kućanskih i drugih uređaja, kao što su rasvjeta, alarmi, prozori, termostati itd. Z-Wave se može koristiti preko interneta putem bežičnog ključa, pametnih telefona ili zidne tipkovnice.

Tehnologija koristi RF sučelje kako bi se osiguralo optimalno kodiranje i dekodiranje uz nisku razinu procesiranja informacija i malu potrošnju energije. To ostvaruje pomoću dvije vrste modulacija signala, PSK pri brzinama od 9,6 i 40 kbps te GFSK modulacijom za ostvarivanje brzine od 100 kbps. Također, kao i ZigBee tehnologija, koristi CSMA/CA tehnologiju radi rješavanja problema interferencije s ostalim uređajima, ali podržava puno manje uređaja u mreži, točnije 232. Koristi frekvencijski spektar od 900 MHz (SAD) i 868,4 MHz (Europa) što omogućuje domet do 30 metara u zatvorenom te 100 metara na otvorenom prostoru.




Slika 2.7.1 Z-wave mreža [27]

Z-Wave mreža se sastoji od jednog primarnog upravljača te jednog ili više sporednih koji kontroliraju podređene (*Slave*) uređaje (Slika 2.7.1). Upravljački uređaji u mreži su čvorovi koji iniciraju kontrolne naredbe te ih šalju drugim čvorovima. *Slave* uređaji su čvorovi koji izvršavaju i odgovaraju na primljene naredbe, ali su također u mogućnosti prosljeđivati naredbe (*Routing slave*) na druge čvorove u mreži (Slika 2.7.2) što je vrlo bitno jer omogućuje glavnom upravljaču uspostavljanje komunikacije s čvorovima koji nisu u njegovom dometu signala. [27]




Slika 2.7.2 Prosljeđivanje naredbe na čvor izvan dometa glavnog čvora [28]

Bitno je definirati još dva pojma koji imaju ulogu pri kreiranju Z-wave mreže, a to su ID glavnog upravljača (*Home ID*) te ID čvora (*Node ID*). *Home ID* je 32-bitni identifikator koji je unaprijed programiran u svim glavnim upravljačima, a potreban je čvoru ako se želi pridružiti mreži. Dok *Slave* čvorovi nisu spojeni u mrežu, njihova *Home ID* vrijednost je nula. Ako *Slave* čvor prihvati *Home ID* glavnog upravljača, on postaje dio mreže. Glavni upravljači mogu svoj *Home ID* razmjenjivati s ostalim upravljačima i tako ih priključiti u mrežu i omogućiti im upravljanje nad postojećim *Slave* čvorovima u mreži. *Slave* čvorovi imaju svoj 8-bitni identifikator koji im je dodijeljen od glavnog upravljača radi raspoznavanja pojedinog čvora.

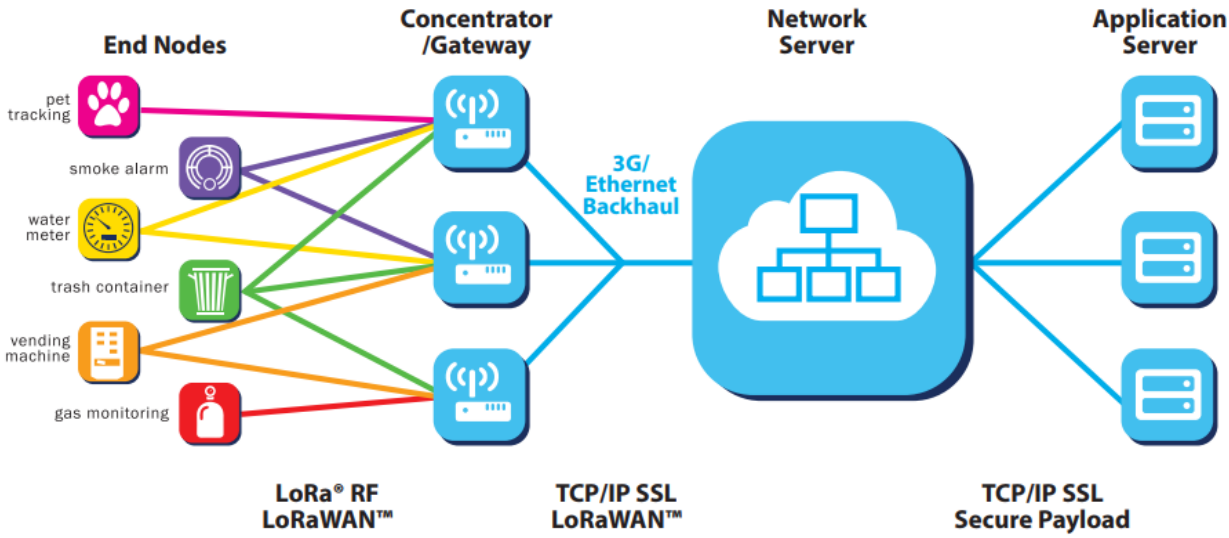
Upotreba bežičnih senzorskih mreža (WSN) se vrlo brzo povećava i bitan je faktor pri automatizaciji pametnog grada. Od brojnih dostupnih protokola, Z-wave ima značajan potencijal za razvoj u WSN-u. Pošto je Z-wave u vlasništvu *Sigma Desings* firme te nije protokol otvorenog koda, malo se zna o sigurnosnim implikacijama njegove uporabe. Ranjivost je Z-wave mreže je u tome što glavni kontroler mora biti konstantno povezan na internet. Javlja se problem zbog mogućnosti upada stranog kontrolera u mrežu koji nakon upada ostaje nevidljiv ostatku mreže te ima mogućnost upravljanja neadekvatno branjenim čvorovima. [29]

## 2.8. LoRaWAN

U nazivu LoRaWAN se kriju dvije tehnologije. Prva je LoRa iza čijeg imena stoji engleski sinonim *Long Range*. LoRa sadrži samo podatkovni sloj i većinom se primjenjuje u P2P komunikaciji, dok LoRaWAN ima isti fizički sloj, ali sadrži i mrežni sloj pa je moguće slati informacije bilo kojoj baznoj stanici već spojenoj na *Cloud* platformu. LoRaWAN je bežična tehnologija koja je razvijena kako bi se omogućilo slanje podataka malim brzinama i malim snagama preko velikih udaljenosti pomoću senzora i aktuatora u M2M i IoT komunikaciji.

Tehnologija koristi nelicencirane ISM frekvencijske pojaseve koji su dostupni širom svijeta. U Europi je to 868 MHz. Koriste niže frekvencije u kombinaciji sa LoRa vrstom modulacije omogućuje tehnologiji vrlo velike domete signala. Ova vrsta modulacije omogućuje demoduliranje signala koji je 20 dB ispod razine šuma kada se demodulacija kombinira s FEC (*Forward error correction*) korekcijom [31]. Činjenica da se većinom prenose podaci malih veličina omogućuje korištenje uskih frekvencijskih pojasa od 7.8 kHz koji se po potrebi mogu proširiti do 500 kHz. Razina snage koja se koristi unutar fizičkog sloja je također prilagodljiva

ovisno o potrebnoj brzini prijenosa te udaljenosti uređaja. Kao rezultat ovih parametara dobijemo moguću brzinu od 290 bps do 50 kbps te domet veze oko 5 kilometara [32].




Slika 2.8.1 Arhitektura LoRaWAN mreže [30]

LoRaWAN mreža se sastoji od nekoliko dijelova (Slika 2.8.1). Glavno računalo (*Application server*) ima zadaću naredbama upravljati krajnjim točkama i prikupljati njihove podatke. LoRa mrežni poslužitelj (*Network server*) upravlja mrežom tako da uklanja duple pakete, raspoređuje ih te regulira brzinu njihovog prijenosa. Mrežni poslužitelji su povezani s glavnim računalom i baznim stanicama pomoću standardnih IP veza. Bazna stanica prima podatke s krajnjih točaka te ih šalje na mrežni poslužitelj pomoću nekih već postojećih tehnologija i medija (WiFi, mobilne mreže, žice). Na taj način podaci koriste standardni protokol, ali se mogu povezati s bilo kojom telekomunikacijskom mrežom. S obzirom na sličnost LoRa i mobilnih mreža, bazne stanice se mogu međusobno povezati kako bi iskoristile slobodne kapacitete. Na kraju imamo udaljeno smještene krajnje točke koje mogu biti različitih vrsta. Stoga LoRaWAN podržava tri različite klase krajnjih uređaja, A, B i C, od kojih svi podržavaju dvosmjernu komunikaciju.

U klasu A pripadaju krajnji uređaji s najmanjom potrošnjom energije, a zahtijevaju samo dolaznu komunikaciju s poslužitelja neposredno nakon što uređaj pošalje potrebnu informaciju baznoj stanici. Ukoliko se između dva javljanja baznoj stanici pojavi dodatna informacija s bazne stanice koja mora biti poslana uređaju, tada mora pričekati sljedeće termin kada se uređaj javlja. U klasi B su uređaji iste funkcionalnosti kao u klasi A s tim da imaju poboljšanu sinkronizaciju i komunikaciju s baznom stanicom, ali zbog toga troše više energije. Klasa C predstavlja uređaje koji pružaju kontinuirano "slušaju" baznu stanicu, osim kada joj odašilju

podatke. Ova vrsta krajnje točke pogodna je za velike količine podataka koji su potrebni za primanje, a ne za prenošenje.

Nemoguće je primijeniti samo jednu tehnologiju za sve usluge i zahtjeve Interneta stvari. WiFi i BluetoothLE široko su usvojeni standardi i vrlo dobro služe u uslugama vezanim za komuniciranje između osobnih uređaja. Mobilna tehnologija je izvrsno rješenje za aplikacije koje zahtijevaju visoki protok podataka i imaju izvor napajanja. Nasuprot njima, LPWAN nudi višegodišnji vijek trajanja baterije i dizajniran je za senzore i aplikacije koje trebaju poslati male količine podataka na velike udaljenosti nekoliko puta na sat iz različitih vrsta okruženja. [30]

## 2.9 Usporedba

U tablici 2.9.1 i 2.9.2 su uspoređene komunikacijske tehnologije opisane u ovome poglavlju prema najbitnijim parametrima te njihove prednosti i nedostaci.

| **Komunikacijska tehnologija** | **Standard/zaduženo tijelo** | **Frekvencija** | **Domet** | **Brzina** | **Topologija** |
|---|---|---|---|---|---|
| Bluetooth | IEEE 802.15.1 | 2.4 GHz | 1-100 m | 1 Mb/s | *Point-to-point* |
| Z-Wave | / | 900 MHz | 100 m | 9.6–100 kb/s | Zvijezda, *mesh*, *cluster* |
| ZigBee | IEEE 802.15.4 | 2.4 GHz | 10-20 m | 250 kb/s | *Mesh* |
| LoRaWAN | LoRa Alliance | 868 MHz (Europa) | 2-5 km | 290 b/s – 50 kb/s | Zvijezda |
| WiFi | IEEE 801.11 | 2.4 GHz, 3.6 GHz, 4.9 GHz, 5 GHz, 5.9 GHz | 100 m | 1-54 Mb/s | Zvijezda |
| WiMAX | 3GPP | 3.5 GHz | 50 km | 75 Mb/s | *Point-to-multipoint*, *mesh* |
| LTE | 3GPP | 2.5 GHz, 5 GHz, 10 GHz | 30 km | 300 Mb/s (DL)<br>75 Mb/s (UL) | Zvijezda |
| LTE-A | 3GPP | 2.5 GHz, 5 GHz, 10 GHz, 15 GHz, 20 GHz | 30 km | 1 Gb/s (DL)<br>500 Mb/s (UL) | *Point-to-point* |

Tablica 2.9.1 Usporedba suvremenih tehnologija prema najbitnijim parametrima [1]

| **Komunikacijska tehnologija** | **Prednosti** | **Nedostaci** |
|---|---|---|
| WiFi | a) Nedostatak žica<br>b) Mobilnost korisnika | a) Visoko slabljenje signala<br>b) Ograničeni radijus usluga<br>c) Manje stabilan u usporedbi sa žičnim tehnologijama |
| WiMAX | a) Visoke brzine<br>b) Široka pokrivenost područja | a) Visoki troškovi implementacije<br>b) Manje stabilan naspram žičnih tehnologija |
| LTE | a) Kompatibilnost s prijašnjim verzijama<br>b) Visoka spektralna efikasnost<br>c) Smanjeni problemi s kašnjenjem u vezi | a) Veći troškovi zbog korištenja dodatnih antena na baznim stanicama |
| LTE-A | a) Visoke brzine prijenosa<br>b) Pogodno za suvremenu multimediju | a) Visoka cijena<br>b) Dostupno samo razvijenim gradovima |
| Bluetooth | a) Jeftin<br>b) Jednostavno postavljanje | a) Kratkog dometa<br>b) Sigurnosni problemi |
| ZigBee | a) Ušteda energije<br>b) Niska cijena | a) Niske brzine |
| Z-Wave | a) Jednostavniji od ZigBee-a | a) Mobilnost teško ostvariva<br>b) Sigurnosni problemi |
| LoRaWAN | a) Niskoenergetska tehnologija<br>b) Sigurna dvosmjerna komunikacija<br>c) Niska cijena | a) Osjetljiva na prepreke – kratkog dometa |

Tablica 2.9.2 Prednosti i nedostaci pojedinih komunikacijskih tehnologija [1]

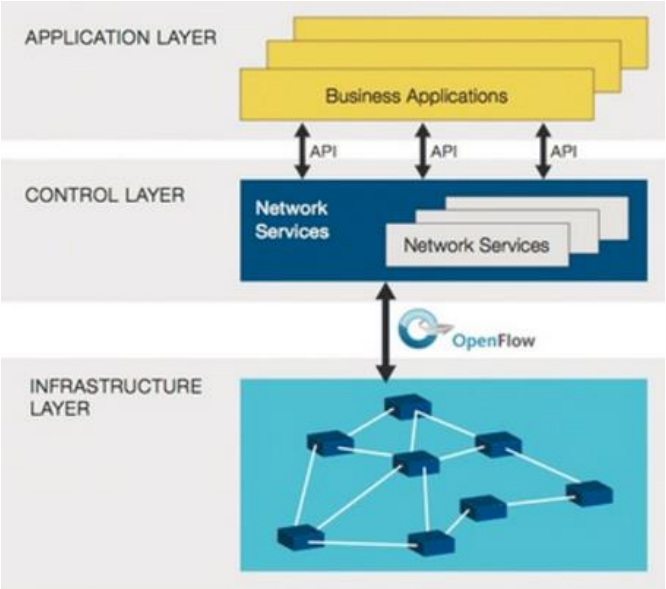
# 3. BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE U RAZVOJU

Mrežne i komunikacijske tehnologije koje su još uvijek u začecima svog razvoja mogu igrati vrlo važnu ulogu u omogućavanju povezanosti u pametnim gradovima. Među tim tehnologijama, neke od njih kao što su SDWN, NFV, CRN i GC nemaju brzinu prijenosa podataka, komunikacijski raspon itd. i odvojene su od komunikacijskih protokola. Cilj budućih i novih tehnologija je omogućiti visoku brzinu prijenosa podataka, bolju mrežnu infrastrukturu, niže prigušenje signala, učinkovitije korištenje spektra, visoku skalabilnost i pokrivenost, nisku cijenu, robusnost, visoku sigurnost i agilne mehanizme šifriranja. Osim toga, tehnologije pete generacije (5G) također mogu pružiti brojne prednosti, poput nekoliko desetaka puta većeg kapaciteta od drugih, očekivane brzine do 10 Gb/s, globalnu dostupnost i niže troškove. Ove nove tehnologije mogu se koristiti u različitim aplikacijama pametnih gradova, kao što su pametni dom, pametna industrija i pametno napajanje.

## 3.1. Softverski definirano umrežavanje (SDN)

*Open Network Foundation* (ONF) je neprofitni konzorcij posvećen razvoju, standardizaciji i komercijalizaciji SDN-a. ONF je osigurao najjasniju i dobro prihvaćenu definiciju SDN-a na koja glasi: *Software-Defined Networking* (SDN) je arhitektura mreže u nastajanju gdje se kontrola mreže odvojila od prosljeđivanja i izravno je programabilna [33]. Koristeći SDN arhitekturu moguće je mrežu učiniti dinamičnijom, više upravljivom, isplativijom i prilagodljivijom. Kao rezultat odvajanja funkcija mrežne kontrole od prosljeđivanja, temeljna mrežna infrastruktura se može apstrahirati od aplikacija i mrežnih usluga.

Ogroman rast broja mobilnih uređaja i podataka koji se upotrebljavaju zajedno s virtualizacijom poslužitelja i korištenjem usluga u *Cloudu* samo su neki od razloga koji su izazvali preispitivanje zastarjele mrežne arhitekture od strane telekomunikacijske industrije. Mnoge od tih mreža su povezane i imaju vrlo hijerarhijsku strukturu s mnogim Ethernet preklopnicima raspoređenima u strukturu stabla. Taj oblik statičke topologije mreže je imao smisla dok se nisu pojavile moderne dinamičke funkcije i skladišne potrebe koje su se razvile s novim računalnim tehnologijama.




Slika 2.3.1 Prikaz SDN arhitekture [34]

S programom koji osigurava sredstvo kojim se može pružiti puno funkcionalnosti, njegovo usvajanje u mrežu omogućava mnogo značajki pokretanih od softvera, a ne hardvera. Na slici 3.1.1 prikazan je logički prikaz SDN arhitekture sastavljen od tri sloja: aplikacijskog, kontrolnog i infrastrukturnog. Inteligencija mreže obično se nalazi unutar SDN kontrolera koji mogu kontrolirati cjelokupnu mrežu. Na taj način, cjelokupna mreža može se tretirati pomoću aplikacija i policy entiteta kao jedna velika logička sklopka. Usvajanjem ovog SDN pristupa, cijela se mreža može kontrolirati s jedne točke. To uvelike pojednostavljuje dizajn, rad i ažuriranja. SDN također pojednostavljuje same mrežne uređaje jer moraju samo imati sučelje sa samo jednim kontrolnim standardom, a ne mnogim protokolskim standardima koje bi inače trebali obraditi. [35]

U prisutnosti stalnog razvoja mrežnih aplikacija, buduća mreža bi trebala poticati inovaciju, a ne pokušavati precizno predvidjeti i savršeno ispunjavati zahtjeve budućih aplikacija. Nažalost, svaka nova ideja ili dizajn odmah se suočavaju s izazovima u eksperimentiranju i implementaciji u postojeće mreže. Glavna prepreka proizlazi iz široko korištenih privatnih hardvera u konvencionalnim mrežnim komponentama, sprečavajući modifikaciju za eksperimentiranje. Osim toga, čak i kada su eksperimenti mogući, često se provode u odvojenom pojednostavljenom testnom sloju. Ovi eksperimenti nisu dovoljno pouzdani za industrijsku prilagodbu tih novih ideja. Za usporedbu, SDN potiče inovacije pružanjem programirane mrežne platforme za implementiranje, eksperimentiranje i razvoj novih ideja. Visoka konfigurabilnost SDN-a nudi jasno razdvajanje među virtualnim mrežama

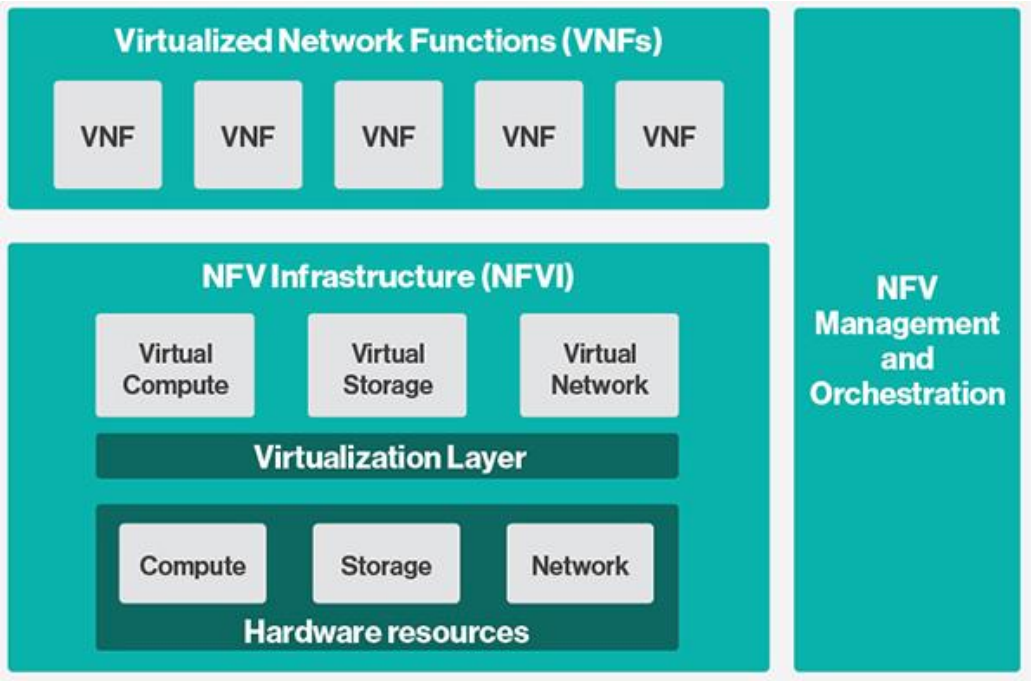
omogućujući eksperimentiranje na stvarnom okruženju. Progresivni razvoj novih ideja može se izvesti kroz neometan prijelaz iz eksperimentalne faze u operativnu fazu. [33]

## 3.2. Network functions virtualization

NFV odnosno virtualizacija mrežnih funkcija je način stvaranja telekomunikacijske mreže gdje su mrežni entiteti koji tradicionalno koriste namjensku hardversku opremu zamijenjeni računalnim sustavima na kojima softver ima zadaću pružiti istu funkcionalnost [36]. Tehnologija je osmišljena kako bi konsolidirala i isporučila mrežne komponente potrebne za podršku potpuno virtualizirane infrastrukture – uključujući virtualne poslužitelje, pohranu, pa čak i druge mreže. Koristi standardne tehnologije IT virtualizacije koje se pokreću na velikom volumenu usluga, preklopnika i hardvera za pohranu za virtualiziranje mrežnih funkcija. Primjenjiva je na bilo koje područje funkcija obrade podataka u obje žične i bežične mrežne infrastrukture [37].

Koncept je nastao od pružatelja usluga koji su željeli ubrzati implementaciju novih mrežnih tehnologija i usluga kako bi podržali svoje ciljeve prihoda i rasta. Ograničenja hardverskih uređaja dovela su do primjene standardnih IT virtualizacijskih tehnologija u njihove mreže. Da bi se ubrzao napredak prema ovom zajedničkom cilju, nekoliko se pružatelja usluga udružilo i stvorilo Europski institut za telekomunikacijske norme (ETSI).

NFV tehnologija se sastoji od tri glavna dijela (Slika 3.2.1), infrastrukture, virtualiziranih mrežnih funkcija (VNF) te NFV-MANO okvira. Virtualizirane mrežne funkcije obuhvaćaju *software* korišten za stvaranje različitih mrežnih funkcija u njihovom virtualiziranom obliku koje se zatim prebacuju na hardver, odnosno NFV infrastrukturu. Infrastruktura (NFVI) se sastoji od svih hardverskih i softverskih komponenti koje se nalaze unutar okruženja gdje se implementiraju VNF. Jedna od prednosti NFV tehnologije je i ta što se infrastruktura može nalaziti na više geografskih lokacija, čime operatori mogu postaviti svoje centre na njima najprikladnije lokacije. Mreža koja omogućuje povezanost između tih lokacija je sastavni dio NFV infrastrukture. NFV-MANO (*Network functions virtualization management and orchestration architectural framework*) je sastavni dio arhitekture koji se sastoji od različitih funkcionalnih blokova bilo kojeg oblika koji omogućuju razmjenu informacija, manipulaciju i skladištenje potrebnih za upravljanje i vođenje infrastrukture i virtuzalizacije. NFV infrastruktura i NFV-MANO područja mreže se izgrađuju unutar cjelokupne NFV platforme.




Slika 3.2.1 Arhitektura NFV tehnologije [38]

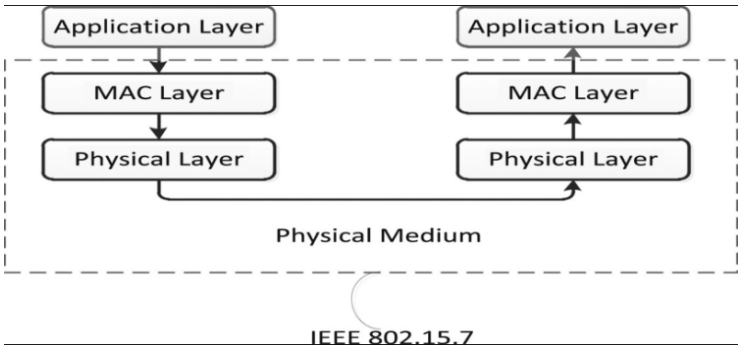
Virtualizacija mrežnih funkcija i softverski definirano umrežavanje su usko povezani, ali nisu isti. SDN se bavi zamjenom standardiziranih mrežnih protokola s centraliziranom kontrolom. Rezultat toga je smanjenje složenosti mrežnih protokola jednostavnim programiranjem cjelokupnog kontrolera. NFV zamjenjuje privatne mrežne elemente sa softverom koji radi na standardnim poslužiteljima odnosno odvaja mrežne funkcije od privatnih hardvera, postavljajući ih na opće servere i računala. Ono što je bitno jest da se obje tehnike mogu koristiti na istoj mreži uz obostranu korist.

Budući da je sektor s najbržim rastom, telekomunikacijska se industrija suočava s povećanom konkurencijom. Stoga postoji potreba postojećih operatera da ulažu i usvoje nove tehnologije kao što su SDN i NFV. Virtualizacija mrežnih funkcija nudi veliki poslovni potencijal u smislu uštede troškova i dodatnih izvora prihoda za operatore, novih mogućnosti pružatelja rješenja i, najvažnije, u otvaranju novih poslovnih modela i mogućnosti inovacija. NFV će stvoriti izazove poslovnog modela, posebno način na koji vodeći pružatelji mrežne opreme naplaćuju svoje proizvode. Trenutno većina tržišta od 100 milijardi dolara za telekomunikacijsku opremu se prodaje se u obliku integriranih sustava s aplikacijama koje se izvode na hardverskim platformama. Prebacivanje na softverski model tržišni prihodi i profiti će biti jako poremećeni. [39]

## 3.3. Komunikacija vidljivom svjetlošću

Vidljiva svjetlosna komunikacija (VLC) komplementarna je tehnologija koja ublažava nedostatak bežičnih spektralnih resursa, a široko se koristi za scenarije koji zahtijevaju veliku brzinu, nisku cijenu i jednostavnu instalaciju [40]. Sustav koristi vidljivu svjetlost za komunikaciju koja zauzima spektar od 380 nm do 750 nm, što odgovara frekvencijskom spektru od 430 THz do 790 THz. Problem uske širine frekvencijskog pojasa u RF komunikaciji riješen je u VLC zbog dostupnosti puno većeg spektra.

Mreža se sastoji od odašiljača i prijemnika čija se arhitektura sastoji od tri sloja: aplikacijskog, MAC i fizičkog (Slika 3.3.1). IEEE standard 802.15.7 je definirao samo fizički i MAC sloj radi jednostavnosti. MAC sloj omogućuje topologiju mreže zvijezda ili PPP. Odašiljač u mreži predstavlja izvor svjetlosti za što se najčešće upotrebljavaju laseri i LED-ice. Bitno je paziti na odabir vrste svjetla jer brzina prijenosa podataka kao i frekvencijski pojas izravno ovise o tome. Kandidat za korištenje kao VLC izvor većinom je bijela svjetlost. VLC prijemnik se sastoji od pojačala signala, optičkog filtra i optičkih koncentratora. Svjetlo se detektira većinom pomoću fotodioda i zatim pretvara u električni signal. Vrsta kodiranja i brzina prijenosa ovise o odabiru jednog od tri fizička sloja definirana u IEEE standardu, dok odabir fizičkog sloja ovisi o vrsti primjene (*outdoor* ili *indoor*). Brzine fizičkih slojeva PHY I, PHY II i PHY III variraju između 11-266 kbps, 1-96 Mbps i 12-96 Mbps.




Slika 3.3.1 VLC arhitektura [41]

Osim problema s uskim frekvencijskim spektrom u RF bežičnoj komunikaciji, još jedan problem stvara i interferencija uslijed elektromagnetskog zračenja bežičnih uređaja kojeg kod VLC mreže nema. Kako RF valovi lako prodiru u zidove, to također predstavlja sigurnosni problem. Premda postoji dosta prednosti VLC-a naspram RF mreža, još uvijek se javljaju izazovi

u implementaciji. Neki od njih su: miješanje signala s okolnim izvorima svjetlosti, smetnje između više VLC uređaja kao i integracija VLC-a s postojećim tehnologijama poput WiFi-a.

Premda se komunikacija svjetlom već uvelike koristi, njena implementacija u mrežni svijet bi se mogla primijeniti na gomilu usluga u pametnom gradu. Potencijalne aplikacije VLC uključuju Li-Fi, komunikaciju s vozilom do vozila, roboti u bolnicama, podvodna komunikacija i informacije prikazane na pločama s oznakama. Li-Fi koristi vidljivu svjetlost za komunikaciju kako bi osigurao brzi internet do 10 Gbit/s. VLC se može koristiti u vozilima za upozorenje o promjeni trake, upozorenju prije sudara i kršenju prometnih znakova kako bi se izbjegle nesreće. Ove usluge zahtijevaju komunikaciju s malim kašnjenjem koju osigurava VLC zbog velike propusnosti i lakše instalacije radi postojeće prisutnosti svjetala vozila i prometnih signala. VLC također ima primjenu na područjima koja su osjetljiva na elektromagnetske valove, kao što su zrakoplovi i bolnice gdje radio signali ometaju rad drugih uređaja.

## 3.4. Kognitivna radio mreža (CRN)

Kognitivni radio je moćan koncept sam po sebi. Međutim, pod nekim okolnostima moguće je izgraditi mrežu radija - čvorova povezivanjem nekoliko kognitivnih radijskih čvorova. Na taj način performansa mreže se može znatno poboljšati. U većini slučajeva jedan kognitivni radio će komunicirati s nekoliko ne-kognitivnih radio stanica, kao u slučaju *femtocell* koji zahtijeva kognitivne funkcionalnosti da se postavi i zatim komunicira s ne-kognitivnim mobilnim uređajima. U drugim slučajevima, nekoliko kognitivnih radija moći će stvoriti mrežu i djelovati kao cjelovita kognitivna radijska mreža. Ovaj scenarij ima mnoge prednosti u smislu poboljšanja performansi cjelokupne mreže, a ne samo pojedinih elemenata [42].

Ideja za kognitivni radio došla je iz potrebe za učinkovitijim iskorištavanjem RF spektra te potrebom održavanja najučinkovitijeg oblika komunikacije za određene uvjete. Korištenjem razina obrade koja je dostupna danas, moguće je razviti radio koji je u stanju promatrati spektar, otkriti koje frekvencije su slobodne, a zatim provesti najbolji oblik komunikacije za tražene uvjete. Na taj način kognitivna radijska tehnologija može odabrati frekvencijski pojas, vrstu modulacije i razinu snage koja je najprikladnija za zahtjeve, prevladavajuće uvjete i zemljopisne regulatorne zahtjeve.

Tehnologija je još uvijek u razvoju i radi se određivanju najboljih metoda za daljnji razvoj radio komunikacijskog sustava koji bi mogao ispuniti sve zahtjeve. Osim vrlo visoke razine obrade podataka koja je potrebna za kognitivni radio, RF dijelovi moraju biti osobito fleksibilni. Nekad neće biti dovoljno samo zamijeniti frekvencijske pojaseve nego i način prijenosa podataka koji zavisi o pojedinom frekvencijskom spektru. Tradicionalna tehnologija ne može podnijeti ove zahtjeve jer općenito pojasno ograničena.

Iako je još u začecima, CR tehnologija već ima potencijal za podršku većem broju usluga te rješavanje nekoliko komunikacijskih izazova u pametnom gradu. Kognitivna radio mreža poboljšava korištenje spektra kao i kapacitet za podršku prijenosa veće količine podataka. Nelicencirani spektar (ISM) koji se većinom koristi u LAN mrežama postaje sve više ometan i zagušen, a istovremeno su drugi licencirani frekvencijski pojasevi fiksno dodijeljeni i korišteni na neučinkovit način. Primjena CR-a omogućuje korištenje već zauzetog spektra bez ometanja licenciranih korisnika. Heterogene tehnologije u pametnom gradu moraju biti integrirane kako bi pružile pouzdan i učinkovit pristup elementima sustava u različitim okruženjima. Kao posljedica toga, uređaji bi trebali biti u stanju stjecati kontekstnu svijest i rekonfigurirati se. Rekonfigurabilnost hardvera može pomoći upravljanjem komunikacijama u područjima gdje su prisutne različite tehnologije. CR se također može koristiti za smanjenje potrošnje energije, a time i pripomoći energetski učinkovitim sustavima, prepoznavanjem okoline i prilagođavanjem snage odašiljača izbjegavajući rasipanje energije.

## 3.5. Green communication

Zeleno umrežavanje je praksa odabira energetski učinkovitih mrežnih tehnologija i proizvoda, te minimizacije korištenja resursa kada god je to moguće. Zelena mrežna praksa uključuje implementaciju virtualizacije, nadogradnju starije opreme energetski učinkovitijom, zapošljavanje stručnog kadra za upravljanje sustavima radi povećanja učinkovitosti i dr. [43]

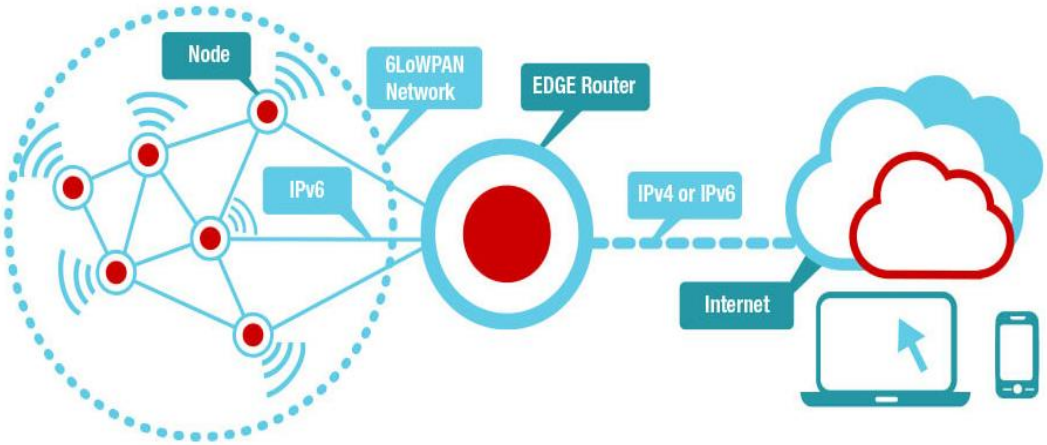
Danas se cijeli svijet telekomunikacijskih i informacijskih zajednica suočava s izazovom da s jedne stran količina multimedijskih podataka raste nevjerojatnom brzinom, a s druge strane se ukupna potrošnja energije komunikacijskih i mrežnih uređaja te globalna emisija CO2 sve više povećavaju. Prema istraživanju Ericssona, troškovi energije čine čak polovicu ukupnih troškova mobilnog operatera. Stoga telekomunikacijska industrija može imati izravan učinak na smanjenje emisija stakleničkih plinova, potrošnju električne energije i postizanje učinkovite

reciklaže otpada opreme. U okviru "zelenih komunikacija" može se očekivati niz tehničkih pristupa vezanih uz energetski učinkovitu mrežnu arhitekturu i protokole ili energetski učinkovite tehnike bežičnog prijenosa (npr. Smanjena snaga prijenosa i smanjeno zračenje).

Jedno od ključnih pitanja kada se govori o zelenoj komunikaciji je što točno znači "zelena" komunikacija. Logično je pretpostaviti da je sinonim za "zelenu" "ekološki prihvatljiv", što predstavlja širok pojam. Prvi korak u rješavanju tih izazova je razviti razumijevanje potrošnje energije u postojećim bežičnim mrežama u širokom rasponu scenarija. Najvjerojatnije bilo koje rješenje za uštedu energije dolazi s određenim troškovima. Ušteda energije u nekim komponentama mreže može uzrokovati dodatnu potrošnju energije u drugim komponentama. Rješenja se moraju pažljivo procijeniti s objektivnog gledišta, uzimajući u obzir sve utjecaje. Drugi je izazov izvesti energetski učinkovite mjerne podatke precizno i učinkovito kvantificirajući potrošnju energije. Treba imati na umu kako i mjerenje tih mjernih podataka crpi dodatnu energiju [44].

## 3.6. 6LowPAN

IPv6 Low Power Personal Area Network ili 6LoWPAN je bežična *mesh* mreža (Slika 3.6.1) niske potrošnje energije gdje svaki čvor ima svoju IPv6 adresu, omogućujući mu izravno povezivanje s internetom pomoću otvorenih standarda [45].6LoWPAN sustav se koristi za različite primjene, ali najbitnije područje su bežične senzorske mreže. Otkako IPv4 protokol postaje sve zagušeniji od naglog rasta broja uređaja, 6LoWPAN tehnologija nudi rješenje niskoenergetskim mrežama korištenjem IPv6 kao osnovnog IP formata.




Slika 3.6.1 Prikaz 6LoWPAN mreže [45]

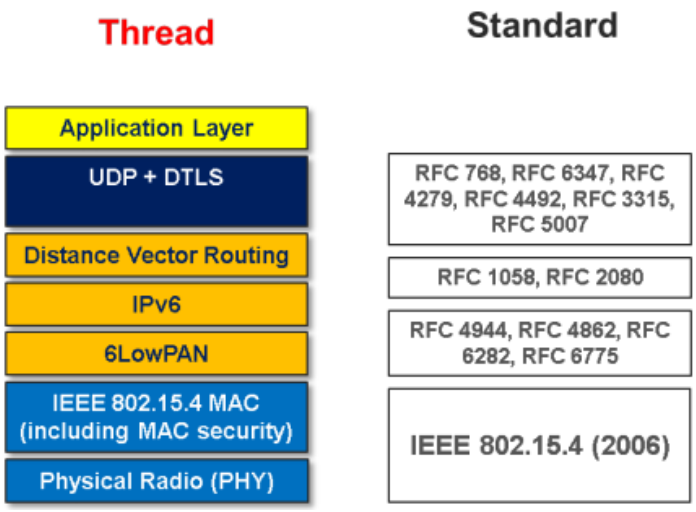
Tehnologiju je stvorila radna grupa IETF koja ima za cilj razviti podršku IPv6 preko IEEE 802.15.4 standarda. Razvoj sustava nije bio tako jednostavan jer su IPv6 i IEEE 802.15.4 različiti po mnogo toga. Međutim, vjerovalo se da korištenje paketnih podataka putem bežične senzorske mreže niske snage ponuditi značajne prednosti u pogledu upravljanja i rukovanja podacima [46]. Integriranje IP-a s uređajima i WSN-om ima niz prednosti kao što je jednostavno povezivanje s drugim IP mrežama, ponovna upotreba postojeće infrastrukture, primjena dobro poznatih IP tehnologija u raznim okruženjima i dr.

Da bi poslali paketne podatke IPv6 preko 6LowPAN-a, potrebno je imati metodu pretvaranja paketnih podataka u format kojim se može rukovati pomoću donjeg sloja IEEE 802.15.4 standarda.IPv6 zahtijeva da maksimalna prijenosna jedinica (MTU) bude duljine najmanje 1280 bajta. To je znatno dulje od IEEE802.15.4 standardne veličine paketa od 127 okteta koji je bio postavljen kako bi zadržao kratkotrajan prijenos i time smanjio potrošnju energije. Kako bi se riješilo pitanje adrese pojedinih čvorova, IPv6 čvorovima je dodijeljena 128-bitna adresa na hijerarhijski način. Zbog toga IEEE 802.15.4 uređaji mogu koristiti ili 64-bitnu IEEE adresu ili onu 16-bitnu koje su jedinstvene u PAN mreži nakon što se uređaji povežu.

Premda još uvijek 6LoWPAN sustav nije široko poznat kao neke druge tehnologije poput ZigBee-a, korištenje IPv6 protokola ga uvelike izdvaja naspram ostalih tehnologija. S obzirom na to da se svijet kreće prema paketnim podacima, sustav poput 6LoWPAN nudi mnoge prednosti za WSN i druge oblike bežičnih mreža s niskom snagom.

## 3.7. Thread

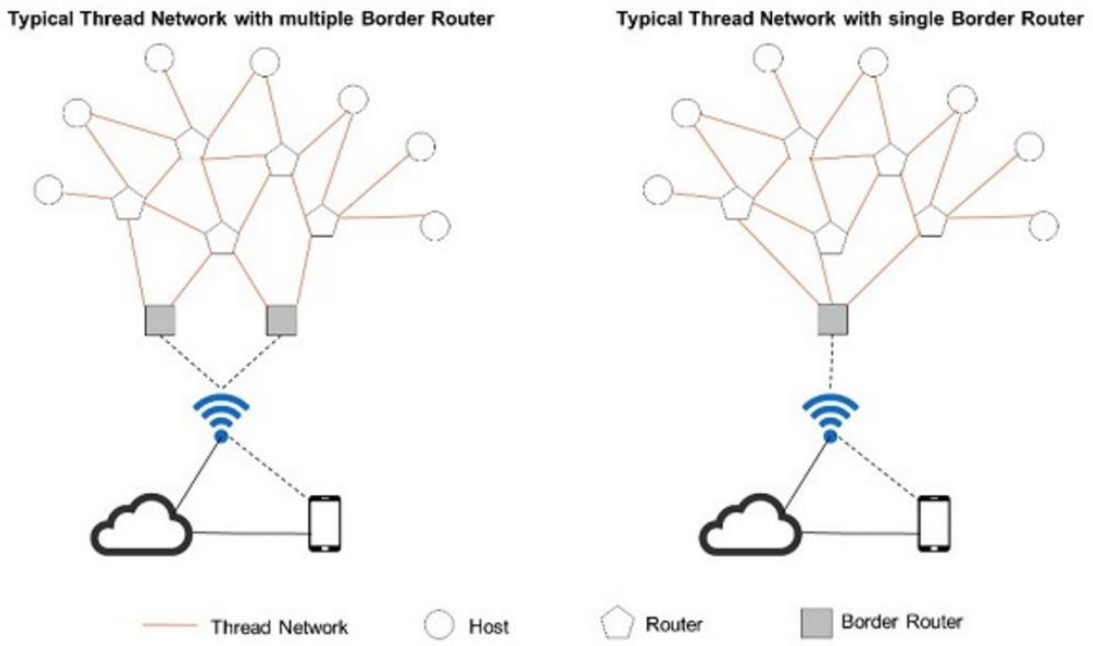
Thread je standard baziran na IP bežičnom mrežnom protokolu dizajniran za uređaje s niskom potrošnjom energije u prostoru kućne automatizacije. Razvijen je posebno za potrebe IoT-a kako bi omogućio jednostavne i sigurne veze putem IPv6 protokola. Thread se temelji na već dokazanim standardima uključujući IEEE 802.15.4 te 6LoWPAN. Tehnologija podržava do 250 uređaja spojenih u *mesh* mrežu (Slika 3.7.2) koja omogućuje izravni pristup internetu kao i *cloud-u* za svaki uređaj. Na taj se način Thread temelji na postojećim standardima, a istovremeno otvara mogućnost za nova proširenja i razvoj [48].




Slika 3.7.1 Usporedba slojeva Thread i standardne mreže [49]

Nekoliko ključnih prednosti krasi Thread tehnologiju, a to su sigurnost, jednostavnost, pouzdanost te mala snaga. Sigurnost je ključni problem za IoT jer hakerski napadi postaju sve sofisticiraniji pa uređaji moraju biti dobro zaštićeni. Istovremeno sustav omogućuje jednostavnu kontrolu mreže pomoću tableta ili pametnih telefona uz nisku potrošnju energije.

Mreža se sastoji od običnih i graničnih usmjerivača te krajnjih uređaja koji mogu imati sposobnost usmjerivanja (Slika 3.7.2). Granični usmjerivač je posebna vrsta usmjerivača koja omogućuje povezanost između 802.15.4 mreže sa susjednim mrežama na drugim fizičkim slojevima (npr. Wi-Fi i Ethernet). U mreži može postojati jedan ili više graničnih usmjerivača. Višestruki usmjerivači pomažu u izgradnji redundancije i mogućnosti greške. No ako postoji samo jedan granični usmjerivač i na njemu se dogodi kvar, tada cijela mreža pada. Dakle, za otpornost kvarovima poželjno je koristiti barem 2 granična usmjerivača. Obični usmjerivači omogućuju spajanje i sigurnosne usluge za uređaje koji se žele pridružiti mreži. Ova vrsta usmjerivača može smanjiti funkcionalnost i postati krajnji uređaj koji ispunjava uvjete usmjerivanja, odnosno *Router-eligible End Device* (REED). REED uređaji ne djeluju kao usmjerivači najčešće zbog trenutne topologije mreže te su također uskraćeni prava prosljeđivanja informacija i dozvoljavanja spajanja novih uređaja u mrežu. Thread mreža samostalno upravlja REED-ovima koji mogu postati usmjerivači ukoliko je to potrebno. Na kraju su krajnji uređaji koji mogu komunicirati s mrežom samo putem svog roditeljskog usmjerivača i ne mogu prosljeđivati poruke na druge uređaje.




Slika 3.7.2 Thread mrežna s jednim i dva granična usmjerivača [47]

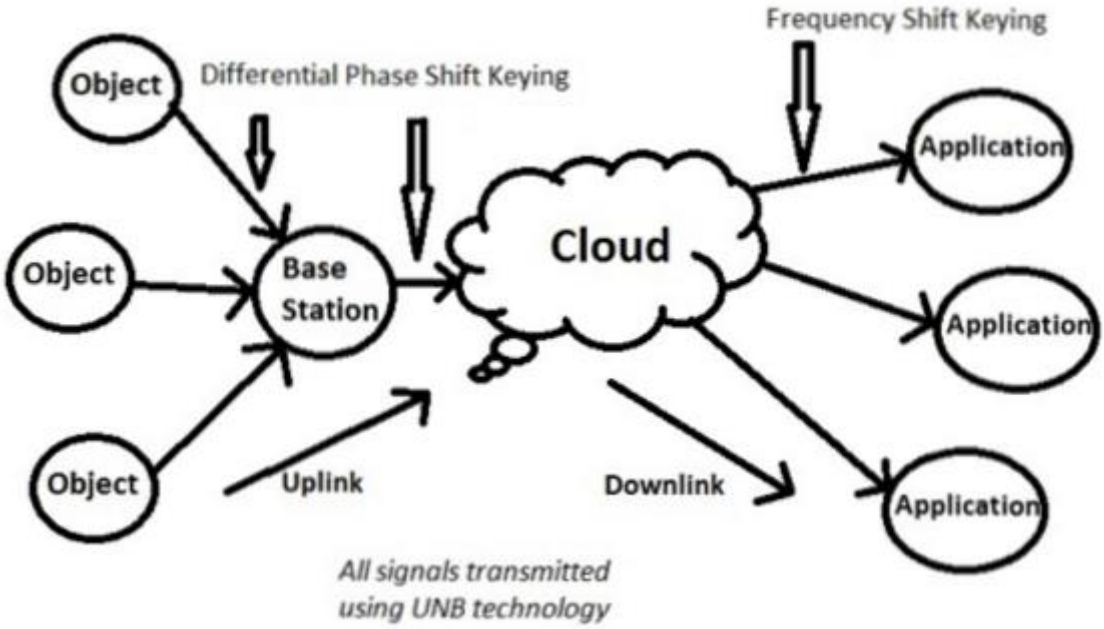
Thread je obećavajuća tehnologija u kućnoj automatizaciji. Iako postoje starije tehnologije na tržištu koje je moguće primijeniti umjesto Thread-a, Google i Nest su uložili mnogo novca kako bi uzdrmali to tržište novijom tehnologijom te omogućili otvoreni protokol. Otvoreni standardni protokol bi pomogao proizvođačima uređaja da se usredotoče na svoj proizvod, a ne troše vrijeme na definiranje vlastitih protokola. Način na koji je standardni TCP/IP protokol bio jedan od razloga uspjeha interneta, od Thread-a se očekuje da napravi isto u području kućne automatizacije.

## 3.8. Sigfox

SigFox je LPWAN mreža koja je po karakteristikama slična mobilnim sustavima. Omogućuje povezivanje udaljenih uređaja pomoću *ultra-narrow band* (UNB) tehnologije. Namijenjena je za primjenu u M2M i IoT komunikaciji gdje postoji mnoštvo uređaja koji zahtijevaju uski dio pojasa za prijenos malih podataka. Također, neki uređaji će zahtijevati postavljanje na veće udaljenosti od onih koje je moguće postići sa samim odašiljačem. Za takve uvjete i primjenu, tradicionalni mobilni sustavi su kompleksni i neisplativi. SigFox mreža ima cilj osigurati povezivost između različitih uređaja i korisnika. Nije usmjeren samo na jedno područje nego za opću upotrebu.

Kronologija procesa u SigFox mreži sadrži tri osnovna koraka. Brojni uređaji priključeni na internet prvo šalju podatke putem SigFox mreže na baznu stanicu. Bazna stanica zatim detektira, demodulira i izvješćuje poruke na SigFox *cloud* preko tri kanala, u razmacima od najviše 10 minuta. SigFox *cloud* zatim prosljeđuje poruke korisničkim serverima.

Razlikuje se od ostalih LPWAN mreža po metodama pri slanju podataka i elektroničnim smjernicama koje reguliraju količinu, brzinu i trajanje prijenosa podataka.




Slika 3.8.1 Procesi i arhitektura mreže [50]

Svi podaci u SigFox mreži šalju se pomoću UNB tehnologije preko ISM frekvencijskog spektra. UNB je strukturiran tako da dozvoljava krajnjem uređaju odašiljanje 140 poruka dnevno, veličine 12 bitova. Domet signala ovisi o području i broju prepreka, prosječno je od 30 do 50 kilometara. U urbanim sredinama domet je od 3 do 10 kilometara, dok na otvorenom i ravnom području može doseći do 1000 kilometara [51].

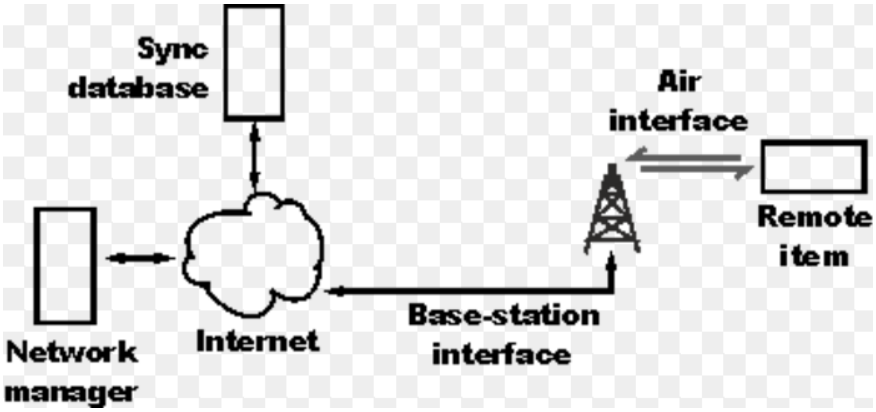
Tehnologija koju koristi SigFox pridonosi dugoročnoj, niskoenergetskoj i niskopropusnoj komunikacijskoj mreži s izvrsnom zaštitom od smetnji u okolišu, čime se podaci mogu učinkovito ustupiti mnogim aplikacijama. SigFox je još uvijek u ranoj fazi usvajanja, ali već postoje tisuće povezanih uređaja diljem svijeta uz SigFox tehnologiju, dokazujući da ima potencijal za pružanje troškovno učinkovitih rješenja na različitim tržištima i industrijama [50].

## 3.9. Neul

Neul je bio glavni suradnik novog bežičnog sustava *Weightless* ™, dizajniranog posebno za tržište IoT-a i M2M komunikacije. Uz to su definirali i standard otvorenog tipa na kojemu se bazira njihova tehnologija [52]. Ime je odabrano kako bi opisalo kompleksnost korištenih protokola u standardu. "Weightless" je tehnologija koja omogućuje razmjenu podataka između bazne stanice i uređaja koristeći spektar TV kanala, odnosno njihov "bijeli" prostor. Bijeli prostor predstavlja frekvencijski spektar koji se ne koristi radi čuvanja sigurnosne udaljenosti između visokonaponskih odašiljača kako bi se osigurala minimalna razina interferencije.

Specifikacija Weightless-a pokriva zračno sučelje, tj. radio sustav i sučelje bazne stanice. U smislu radijskog sučelja, Weightless koristi ili fazno pomicanje (PSK) ili kvadraturnu amplitudnu modulaciju (QAM) zajedno sa shemom "izbjeljivanja" kako bi proširio signal i učinio da izgleda više poput bijelog šuma u svrhu smanjivanja razine interferencije. Uz navedene tehnike, ovaj sustav koristi i *Time Division Duplex*(TDD), kako bi omogućio prijenosu oba smjera koristeći isti kanal. Brzina prijenosa je podesiva ovisno o potrebi i vrsti modulacije. Za područje nižih brzina osigurano je od 2,5 kbps do 500 kbps, dok je za veće brzine omogućeno do 16 Mbps.

Specifikacija Weightless mreže pokriva sučelje od bazne stanice do mreže, ali za razliku od mobilnih sustava, nema definiranih sučelja unutar mreže. Iz tog razloga, moguće je koristiti razne metode povratne veze.




Slika 3.9.1 Prikaz Weightless mreže [53]

Dok će mobilne mreže prenositi podatke za mnoge vrste M2M komunikacije, postoji i potreba za niskim energetskim troškovima. Iz tog razloga standard Weightless može pronaći svoju primjenu koristeći "bijeli" prostor spektra pružajući veći domet i široku pokrivenost.

Područje pametnog mjerenja, zdravstvo i mHealth aplikacije, usluge tijekom prijevoza, reklamiranje maloprodajne i raspoloživih proizvoda te sigurnosni sustavi samo su neke od primjena gdje se Weightless standard može implementirati.

## 3.10. Near field communication

*Near Field Communications* (NFC) je bežična tehnologija kratkog dometa koja osigurava sigurnu dvosmjernu interakciju između elektroničkih uređaja. Komunikacija se uspostavlja na jednostavan i brz način, ne zahtijevajući korisnikovu interakciju pri svakom povezivanju, kao u slučaju mnogih drugih bežičnih tehnologija. Kao takav NFC omogućuje korisnicima da obavljaju sigurne transakcije, pristupaju digitalnom sadržaju ili povezuju elektroničke uređaje međusobnim fizičkim približavanjem dva uređaja na udaljenost od nekoliko centimetara[54].Povezivanje na taj način daje visoku razinu sigurnosti jer uređaji ostvaruju kontakt i povezanost samo kada korisnik to želi.

NFC radi na frekvenciji od 13,56 MHz, u području globalno dostupnog frekvencijskog pojasa. Prijenos podataka je *half-duplex* što omogućuje dvosmjernu komunikaciju, ali samo jedan uređaj može slati podatke u jedinici vremena. Kako bi se spriječilo odašiljanje dva uređaja istovremeno, koristi se tzv. *listen before talk* protokol, tj. uređaji mogu odašiljati samo ako prethodno provjere odašilje li ijedan drugi uređaj. Brzina podataka prije prijenosu može biti 106, 212 ili 424 kbps. Sama aplikacija postavlja početku brzinu komunikacije koja se može promijeniti ovisno o komunikacijskom okruženju i zahtjevima [55].

Kako bi se osiguralo standardno sučelje kod povezivanja, NFC tehnologija koristi normalan ISO standard. U NFC mreži su definirane dvije vrste uređaja, inicijator koji pokreće komunikaciju i kontrolira razmjenu podataka te ciljni uređaj koji odgovara na zahtjeve inicijatora. Uz dvije vrste uređaja postoje i dva različita načina rada, aktivni i pasivni. Kod aktivnog načina komunikacije oba uređaja generiraju RF signal kojim se podaci prenose. Nasuprot tome, kod pasivnog komuniciranja inicijator generira RF signal, a pasivni (ciljni) uređaj koristi tehniku "modulacija opterećenja" za prijenos podataka na primarni uređaj.Uz dva načina rada, definirana su i tri načina komuniciranja:čitanje/pisanje, emulacija NFC kartica i P2P.

Uz NFC se javlja još jedna slična tehnologija pod nazivom RFID te se ponekad poistovjećuju, što je pogrešno.NFC je oblik RFID-a, ali posjeduje određeni skup standarda koji upravljaju njegovim radom i sučeljem te određuju formate podataka i brzinu prijenosa. Ti standardi omogućuju zajedničko korištenje NFC opreme proizvedene od različitih proizvođača.

Najpoznatija današnja primjena NFC tehnologije je bezgotovinsko plaćanje koje uveliko ubrzava proces plaćanja. No osim toga postoje još brojne primjene u svakodnevnom životu kao što su okretna vrata za kontrolu ulaska, bankomati, uređaji za naplatu parkinga, senzori za otključavanje vrata itd. Vrlo bitna je i mogućnost ugradnje NFC-a u neke druge bežične tehnologije većeg dometa. Npr. ugradnjom NFC-a u Bluetooth moguće je uvelike skratiti kompliciran i mukotrpan proces pronalaženja i povezivanja uređaja jednostavnim fizičkim približavanjem tih uređaja.

## 3.11. 5G

Svaka nova generacija bežičnih mreža pruža veće brzine i više funkcionalnosti našim pametnim telefonima i drugim uređajima. 1G nam je donio prve mobilne telefone, 2G omogućio slanje tekstualnih poruka, 3G nas je spojio na internet, a 4G je omogućio brzine u kojima danas uživamo. No, kako sve više korisnika i uređaja dolaze na mrežu, 4G mreža je dosegnula granicu onoga što su u stanju omogućiti u vrijeme kada korisnici žele još više podataka za svoje pametne telefone i uređaje. Sada smo na putu prema 5G, čija se implementacija očekuje 2020. godine.

Glavni problem pri razvoju 5G tehnologije predstavljaju vrlo visoko postavljeni zahtjevi koje nijedna današnja tehnologija nije u mogućnosti ispuniti. Iako standardna tijela još uvijek nisu definirala parametre potrebne za postizanje 5G performansi, druge organizacije postavljaju vlastite ciljeve koji bi mogli utjecati na konačne specifikacije [56]. Neki od okvirnih parametara zahtijevaju 10 tisuća puta veći kapacitet mreže od sadašnjeg, brzine prijenosa do 10 Gbps te kašnjenje manje od 1 ms.

Premda nitko još ne zna kako će se doista strukturirati 5G mreža, razvijeno je nekoliko potpuno novih tehnologija čija bi interoperabilnost uvelike mogla doprinijeti postizanju budućih ciljeva. Neke od njih su:

- Tehnologije milimetarskog vala: karakterizira ih uporaba većih frekvencija u svrhu oslobađanja zagušenog spektra do 6 GHz. Razmatraju se frekvencije iznad 50 GHz

što će predstaviti brojne izazove u smislu dizajna kruga te načina na koji se sustav koristi jer su te frekvencije vrlo osjetljive na prepreke i bivaju apsorbirane na njima.

- Tehnologija gustih mreža: kako bi se riješio problem apsorbiranja, umjesto jedne visokonaposne bazne stanice ideja je postaviti mnogo manjih niskonaponskih odašiljača koje bi učinkovito dosegle iza svake veće prepreke.
- Masivni MIMO: iako se MIMO već koristi u brojnim bežičnim tehnologijama poput LTE-a, broj antena je prilično ograničen. Primjenom većih frekvencija otvara se mogućnost korištenja i do nekoliko puta više antena na jednoj baznoj stanici. Naravno, uz toliki broj antena povećava se količina interferencije.
- Pametne antene - *Beamforming*: umjesto odašiljanja signala u svim smjerovima, ideja je poslati signal u točnome smjeru prema uređaju. Takve antene moraju imati vrlo razvijene algoritme procesuiranja signala kako bi mogle istovremeno slati veliki broj paketa na više uređaja te pritom izračunavati najbolju moguću rutu radi izbjegavanja interferencije.
- *Full-duplex* metode: današnji sustavi koriste većinom jednu od dvije najpopularnije tehnologije, FDD ili TDD, odnosno frekvencijski ili vremenski duplex. U 5G sustavu ideja je razviti nove i učinkovitije metode. To su fleksibilni dupleks kod kojega bi se vrijeme i frekvencije mijenjale ovisno o opterećenju i potpuni dupleks koji bi omogućio istovremenu dvosmjernu komunikaciju na jednoj frekvenciji.
- Kognitivna radio mreža: korištenjem ranije opisane (poglavlje 3.4) kognitivne radio mreže, korisničkim uređajima bi se omogućilo sagledavanje radijskog okruženja u kojemu se nalaze te odabiranje optimalne frekvencije, modulacije i drugih konfiguracijskih parametara kako bi se dobila optimalna veza.

Vidimo kako već sada postoje nove tehnologije i tehnike koje će se koristiti u novom 5G mobilnom sustavu, ali i telekomunikacijskim sustavima općenito. Te nove tehnologije se još uvijek razvijaju i sveukupni standardi još nisu definirani. Međutim, kako se nove zahtijevane tehnologije razvijaju, i one će biti uključene u nove sustave koje će definirati standardna tijela narednih godina [56].

Dok će prvi 5G korisnici vjerojatno koristiti novu mrežu samo kod kuće i koristiti samo neke od beneficija, IoT uređaji će moći najviše primijeniti i iskoristiti novu tehnologiju [57]. Trenutno je u svijetu 6,4 milijarde mrežnih uređaja, a pretpostavlja se udvostručenje tog broja do 2020. godine. Većina tih uređaja nije međusobno povezana, međutim, za pametni grad jedinstvena povezanost svih uređaja je važan faktor. Smatra se kako će tehnologija biti

revolucionarna, omogućujući niz novih aplikacija i usluga uključujući humanoidne robote, međusobno povezane automobile te još veći IoT s milijardama uređaja opremljenih s ugrađenim senzorima [58].

# 4. PRIMJENA BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Gradovi su moćni motori gospodarskog rasta, potaknuti brojnim interpersonalnim i visokim stupnjem stručnosti. Budući da se procjenjuje da će 70% svjetske populacije živjeti u gradovima do 2050. godine, održiva urbanizacija postaje glavno političko pitanje vladama širom svijeta [59]. Stoga, nakon tehnološkog razvoja i rasta urbanog stanovništva pojavio se koncept pametnog grada. Grad se može smatrati pametnim kada se osigura kontinuirani ekonomski razvoj s razumnim upravljanjem prirodnim resursima koji se ulažu u ljudski i društveni kapital, moderniziranu ICT infrastrukturu, itd. Stoga, nadolazeće komunikacijske tehnologije moraju biti prikladne i usmjerene na pružanje predviđenih scenarija pametnih gradova tijekom sljedećeg razdoblja. Očekuje se da će implementacija 5G mreža prevladati prethodne mrežne probleme: učinkovitost spektra, latencije, propusnosti i problema mobilnosti. Isto tako, u pametnim gradovima ljudska će intervencija biti što više umanjena budući da je mrežna infrastruktura i njena implementacija poluautomatska ili čak automatska.

Ogroman rast Interneta stvari omogućio je međusobnu povezanost tisućama uređaja. Štoviše, besprijekorna neprekinuta povezanost trebala bi biti pružana 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu s dubljom pokrivenošću čak iu izvanrednim teškim uvjetima. Ovaj pametni gradski koncept opisan je u sljedećim potpoglavljima.

## 4.1. Koncept pametnog grada

Budući da još uvijek nema precizne univerzalne definicije pojma "pametni grad", istraživači su dogovorili razmatranje grada kao inteligentnog i održivog u slučaju korištenja inovativnih komunikacijskih tehnologija i drugih sredstava za poboljšanje kvalitete života, učinkovitosti urbanog upravljanja i urbane usluge, kao i konkurentnosti, uz poštivanje potreba sadašnjih i budućih generacija u gospodarskim, socijalnim i ekološkim područjima [59]. Koncept pametnih gradova doživljava čudesan uspjeh koji se nesmetano nastavlja. ICT ima ključnu ulogu u tome, što omogućuje veću učinkovitost u pogledu zaštite okoliša u svim sektorima industrije i potiče inovacije u područjima kao što su inteligentni transportni sustavi (ITS), pametna opskrba vodom i energijom te upravljanje otpadom.

Tehničke karakteristike pametnog grada moraju biti u mogućnosti u realnom vremenu upravljati gradom i njegovim uslugama kao što su: upravljanje energijom koje zahtijeva pametnu mrežu i optičko vlakno, besplatan pristup internetu, besprijekornu mobilnost među mobilnim mrežama u bilo kojem trenutku i bilo kojem mjestu, multimodalni transportni sustav, korištenje

pametnih kartica i geolokacija za pružanje svih digitalnih građanskih usluga, mogućnost beskontaktnih plaćanja te općinsko kontrolno mjesto za integraciju usluga (e-trgovina, policija, vatrogasna, hidro, zdravstvena, e-vlade itd.).

5G sustavi će ponuditi osnovnu infrastrukturu za dizajn pametnih gradova gdje se istovremeno obrađuje iznimno velika količina podataka (*big data*) i osjetljive *real-time* aplikacije. Dakle, latencija veća od nekoliko milisekundi više se neće tolerirati. Više od 20 milijardi povezanih uređaja će međusobno djelovati i istodobno raditi. Koncept interneta stvari otkriva usluge povezivanja M2M i D2D koje će omogućiti povezivanje kuća, pametnih električnih mreža, transportnih sustava, gradova i regija. Na taj će način građani moći daljinski upravljati svojim uređajima i senzorima te imati koristi od navedenih usluga koje će im omogućiti da budu više svjesni svojeg okruženja.

## 4.2. Sadašnji i budući izazovi

Budućnost čovječanstva će biti svjetlija jednom kada se okarakterizira kvalitetnijim životom nudeći inovativnije usluge i omogućavajući veću interakciju i međusobno povezivanje urbanizacijskih populacija unutar pametnog grada. Porast stanovništva i izazovi urbanih područja noćna su mora za urbanističke planere i inženjere. Prekomjerna centralizacija ljudi u urbanim područjima uzrokuje ekološke probleme kao što su deforestacija i smanjenje poljoprivrednih zemljišta, zagađenje okoliša i pretjerani pritisak na prirodne resurse poput zemlje, vode i energije. Osim toga, socijalna pitanja kao što su nezaposlenost postali su ozbiljni izazovi. Jedna od glavnih usuda u pametnim gradovima je opsežna upotreba ICT-a. Gradovi moraju biti svjesni ogromne količine podataka koji će se svakodnevno razmjenjivati unutar uređaja i ljudi širom svijeta. Stoga se trenutno implementirana infrastruktura više ne može nositi s takvim evolucijskim konceptom. Mora postojati dobro vođena koordinacija pružanja usluga i komunikacijskih informacija među različitim entitetima šireg širokopojasnog pristupa i veće brzine.

## 4.3. Internet stvari (IoT)

Može se promatrati kao temeljni napredak prevladavajućeg Interneta u mrežu međusobno povezanih objekata. Urbani inteligentni objekti (IoTs) osmišljeni su kako bi podržali viziju pametnog grada, koja ima za cilj iskorištavanje najnaprednijih komunikacijskih tehnologija za pružanje podrške uslugama za upravljanje gradom i građanima [59]. Kako bi to postigao, IoT mora koherentno kombinirati različite heterogene sustave korištenjem ICT-a radi održavanja

optimalnih performansi u urbanom okruženju. WSN se može koristiti za stalno nadgledanje mostova, daljinsko upravljanje gradskom rasvjetom i praćenje prometnica kako bi se postigla veća ukupna učinkovitost i sigurnost.

Automatizacija nekoliko aplikacija kao što su recikliranje, sakupljanje otpada, usluga električne energije i opskrba vodom olakšat će jednostavne zadatke građana, brzo smanjiti troškove i jednostavno jamčiti njihovu sigurnost. Međutim, rastom grada i broja stanovnika, broj povezanih objekata eksponencijalno raste. Korištenje interneta strahovito će se povećati, što dovodi do većeg iskorištavanja resursa odnosno zagušenja mreže. Ljudi više neće biti ograničeni na prijenosne uređaje. Stoga, uporaba tih resursa mora biti što mudrija i učinkovitija.

## 4.4. Case Study

U ovom potpoglavlju će ukratko biti opisana primjena i rad globalno rasprostranjenih usluga i ideja u okruženju pametnog grada i Interneta stvari kao i moguća primjena tih ideja na neki hrvatski grad (Osijek). Grad kao model inovacijske platforme nastoji izbjeći ovisnosti o pojedinim dobavljačima, a umjesto toga, kroz partnerstva diljem države, akademske zajednice i industrije, gradovi mogu međusobno troškovno učinkovitije i brže implementirati vlastite potrebe pametnih gradova diljem spektra raznih usluga.

Pametne parkiralište, LED ulična rasvjeta, pametne košare i gospodarenje otpadom, pametne rešetke i obnovljivi izvori energije, upravljanje vodama i otpadom, upravljanje okolišem, pametna poljoprivreda, javna sigurnost, povezana zdravstvena zaštita i obrazovanje.

### 4.4.1. Interoperabilnost i otvoreni standardi

Prvo i nužno je izraditi strategiju transformacije grada. Posložiti interoperabilnost nakon nekoliko godina odvojenog razvoja nekoliko IT "otoka" košta skoro koliko i razviti cijeli sustav ispočetka [60]. Za početak je bitno optimizirati infrastrukturu. Obično će se naći pregršt sustava i servera na različitim platformama, različita korisnička računala, više verzija programa za obradu teksta itd. Sve je to potrebno obuhvatiti i standardizirati, od virtualizacije servera, odabira operacijskih sustava, do standardizacije krajnjih računala. Potrebno je donijeti odluku o standardima koji će se koristiti, ali treba poštivati i neke postojeće državne standarde kao što su oni za dugoročnu pohranu podataka u elektroničkom obliku (ISO 19005). Također treba gledati u budućnost, nekoliko godina unaprijed – grad koji se čini pametnim treba graditi tako da

uključuje i tehnologije i usluge koje će tek za desetak godina biti aktualne, npr. autonomna vozila (poglavlje 4.4.11) [60].

Istraživanje provedeno od grupe Machina Research [61] pokazuje kako korištenje ne-standardiziranih rješenja za IoT drastično povećava troškove implementacije, sprječava brže usvajanje inovacija te usporava daljnje tehnološke inovacije za inicijative pametnih gradova. Gradske vlasti i njihovi tehnološki partneri mogli bi uštedjeti ogroman kapital do 2025. godine ako standardiziraju pristup Internetu stvari.

### 4.4.2. Programabilni grad

Kako se gradovi mijenjaju, razvoj softvera, hardvera i telekomunikacijskih mreža omogućuje veću interakciju između čovjeka i grada te više međusobne komunikacije između dva uređaja, stvarajući Internet stvari. Omogućavanje iskorištavanja/upotrebe ove vrste komunikacije i razumijevanje njezine funkcije daje građanima veću mogućnost interakcije i rada sa svojim gradom. Po uzoru na bristolski projekt *"Bristol Is Open"* između Sveučilišta u Bristolu i Gradskog vijeća Bristol, Osijek, poznat kao sveučilišni grad, bi također mogao osmisliti takav tip suradnje gdje bi se implementirali senzori podataka i pametne gradske tehnologije kako bi se u stvarnom vremenu moglo kvalitetnije upravljati i reagirati na svakodnevne operacije grada, od zagušenja prometa do upravljanja otpadom i energijom. Mreža i sustav bi se kontrolirali pomoću SDN tehnologije (poglavlje 3.1.) koja se temelji na OpenFlow standardu. Također bi se implementirala NFV tehnologija (poglavlje 3.2.) kako bi infrastruktura bila fluentna i pogodna za korištenje od strane brojnih projekata istovremeno [62].

### 4.4.3. Javno dostupna IoT mreža

Prvi u svijetu, grad Amsterdam je implementirao javni pristup mreži koja se temelji na tehnologiji otvorenog standarda, LoRaWAN-u (poglavlje 2.8.). U razdoblju od 4 tjedna u studenom 2015., diljem grada postavljena je mreža pametnih senzora. Od prvog dana izgrađen je niz uvjerljivih slučajeva moguće upotrebe tih senzora. Šest mjeseci kasnije, inovacijska platforma pametnog grada za upravljanje imovinom podržava desetke društvenih i poslovnih aplikacija za pametne senzore, uključujući praćenje položaja i sigurnosti bicikala diljem grada,

praćenje razine kišnice u brodovima te pomaganje gradskoj luci pri pružanju informacija o trenutnim položajima brodova i plovnih puteva [63].

Gradovi diljem svijeta se sve više okreću prema biciklističkom prometu te potiču građane na korištenje bicikala umjesto automobila u svrhu smanjenja prometnih gužvi i emisija štetnih plinova. Grad Osijek bi također trebao pratiti svjetske trendove te još više poboljšati postojeću infrastrukturu primjenom novih tehnologija po uzoru na Amsterdam.

### 4.4.4. Pametne četvrti

Četvrt New Yorka, Hudson Yard, bit će prva "kvantificirana zajednica" – testno polje za primijenjenu urbanu podatkovnu znanost [63]. Tijekom sljedećeg desetljeća ovaj projekt vrijedan 20 milijardi dolara pretvorit će stara Hudsonova željeznička dvorišta u 17 milijuna četvornih metara komercijalnog i stambenog prostora. Područje će biti u potpunosti instrumentalizirano kako bi podržalo vodeće urbanističke planove te posebno načela "zelene" tehnologije (poglavlje 3.5.). Četvrt će biti daleko više od kolekcije visokih nebodera i otvorenih prostora. To će biti model za urbano iskustvo 21. stoljeća. Integracijom zgrada, ulica, parkova, komunalnih usluga i javnih prostora težit će se stvaranju povezanog, čistog, pouzdanog i učinkovitog susjedstva [64].

Dok se u New Yorku osmišljavaju i grade pametne četvrti, u Osijeku postoji tek jedna niskoenergetska pametna zgrada u Reisnerovoj ulici. Uvid u njenu isplativost kroz niske režije i samoodrživost treba biti poticaj gradu za veća ulaganja u gradnju pametnih zgrada koja će dovesti do stvaranja pametnih četvrti i uvelike olakšati i pojednostaviti život građana.

### 4.4.5. Pametna opskrba vodom

Loše vodne infrastrukture i njene propusne cijevi stvaraju velike troškove i traćenje vrijednih vodnih resursa. Barcelona je uštedjela 58 milijuna dolara u jednoj godini ugradnjom senzora za prikupljanje i analizu podataka u realnom vremenu. Ideja ovog projekta je pomoći građanima pri praćenju potrošnje vode te potaknuti pozitivne promjene u ponašanju. Također, znatno će se ubrzati i olakšati identificiranje mogućeg kvara. Australski grad Townsville je

pokrenuo jedan ovakav pilot projekt gdje su njegovi građani putem web portala u mogućnosti pratiti svakodnevnu potrošnju vode što je dovelo do sljedećih rezultata [63]:

- 50% potrošača promijenilo je svoje navike nakon što su dobili stalni uvid u vlastitu potrošnju vode
- 98% brže saznanje o kvaru i curenju vode, potencijalno štedeći milijune litara vode i sprječavajući troškove uslijed poplava
- smanjenje od 10% pri ukupnoj potrošnji vode na razini kućanstva kod korisnika koji imaju pristup web portalu.

### 4.4.6. Pametna rasvjeta

Trenutno više od 2000 gradova implementira pametnu gradsku rasvjetu pomoću LED svjetala. Francuski grad Nice već provodi takvu pametnu rasvjetu prateći intenzitet svjetla i senzore prometa radi smanjenja krađe automobila, napada, pa čak i provale u kući. Očekuje se ušteda od 8 milijuna dolara godišnje na troškovima električne energije. Australski grad Sydney do sada zamijenio 6500 konvencionalnih svjetala LED rasvjetom i postigao uštedu od 800 000 dolara godišnje. Također su objavili podatke koji ukazuju kako je javna rasvjeta odgovorna za trećinu godišnjih troškova za električnu energiju i veliki dio emisija stakleničkih plinova. Grad se zalaže za smanjenje emisija stakleničkih plinova za 70%, a instalacija LED rasvjete predstavlja značajan korak ka postizanju tog cilja [65].

### 4.4.7. Pametne zgrade

Zgrade čine oko 75% ukupne potrošnje električne energije na globalnoj razini, a procjenjuje se da je trećina te energije izgubljena. Kada infrastruktura postane pametna ugrađivanjem umreženih senzora - učinkovitost zgrade može se uvelike poboljšati. Umjesto mišljenja o pametnoj zgradi kao hrpi građevinskog materijala, potrebno ju je promatrati kao dinamičan, "živi" organizam koji sadrži više "živih" organizama. Zgrade su se razvile od osnovnih, nenametljivih skloništa do tehnološki naprednih struktura, pa ih organizacije trebaju promatrati u novom svjetlu. Promatranjem na takav način, postaje lakše razumjeti kako se pametna tehnologija gradnje proteže u svaki dio građevinskog plana, od modeliranja do

useljenja. U dobro osmišljenim zgradama (komercijalnim i stambenim), pri izradi ovog sustava, razmatraju se stotine elemenata koji kada se svi uzmu u obzir, zgrada može dobro funkcionirati i usrećiti svoje stanare [66].

### 4.4.8. Pametne kante i upravljanje otpadom

Pametne kante opremljene su pametnim senzorima koji prate njen sadržaj i trenutni kapacitet kako bi se izbjegao nepotreban odvoz kada nema otpada, ali isto tako obavio ukoliko je kanta puna prije rasporeda odvoza te kako bi se pratilo odlaganje ilegalnog otpada. Zamislimo model gdje kanta javlja da ujutro vozilo dođe po nju jer je prije roka puna. Mala tehnološka novina, no velik korak protiv urbanog smrada i ostavljanja smeća pokraj pretrpanog kontejnera. Vozač gradske komunalne tvrtke ujutro će imati automatski izrađen raspored pražnjenja kanti optimalnom rukom, a ne kao prije prema unaprijed predviđenom rasporedu. Samo na jednom takvom komunalnom poslu tipa prikupljanja otpada uštede mogu biti ogromne [60].

Australska tvrtka Big Belly dizajnirala je specijalne kante koje su u stanju same sabiti ulični otpad te tako smanjiti njegov volumen [67]. Rezultati su pokazali kako je sakupljanje otpada smanjeno od četiri puta dnevno do jednom svakog drugog dana. Ostvarene su značajne uštede goriva i smanjenje emisija stakleničkih plinova.

### 4.4.9. Pametno parkiralište

Projekt pametnog parkirališta koristi IoT uređaje za pružanje informacija o parkiranju u stvarnom vremenu pomoću pametnih telefonskih aplikacija i prometnih znakova koji navode vozače optimalnom rutom do dostupnog mjesta za parkiranje. Prednosti su smanjenje zagušenja prometa i optimizacija korištenja parkirnih mjesta.

Provođenje pametnog parkinga u San Franciscu rezultiralo je smanjenjem vremena provedenog u potrazi za mjestom za 43 posto. Grad Nice u Francuskoj je tijekom 2013. godine proveo pametno parkiralište na 8,500 ulica i 19 etažnih parkirališnih objekata. Rezultati su pokazali smanjenje troškova parkiranja za 30 posto, povrat ulaganja u roku dvije godine i smanjenje štetnih emisija i onečišćenja za 10 posto [63].

### 4.4.10. Pametno napajanje

Godišnja potrošnja električne energije na Zemlji u 2008. godini iznosila je 19,1 trilijun kWh, što bi se do 2035. godine moglo otprilike udvostručiti. Razlozi su brojni – električnu energiju dobivaju i zadnja sela u Africi, ali se ona i sve više koristi u novim proizvodnim pogonima. Također, neke industrije koje su više koristile fosilna goriva prebacuju se na električnu energiju. Ubrzo će i automobili postati značajni potrošači [60]. Stoga su energetske mreže su pod stalnim operativnim pritiskom.

U Teksasu, Oncor, najveći pružatelj usluga prijenosa i distribucije električne energije, implementirao je pametna brojila. Brojila prikupljaju podatke o potrošnji u intervalima od petnaest minuta pomoću senzora u električnoj mreži. Implementacijom senzora Oncor dobiva detaljnu vidljivost za potražnjom električne energije te u konačnici informacije potrebne za boljim upravljanjem distribucijskom mrežom. Ono što je najbitnije jest da potrošači također imaju trenutni uvid u svoju potrošnju energije pomoću kojega im je lakše razviti svijest o potrošnji i potencijalnim uštedama. Na taj način potrošači postaju aktivni sudionici u upravljanju potrošnjom energije s procijenjenim smanjenjem potrošnje od 5 do 10% po kućanstvu [63].

### 4.4.11. Autonomna vozila

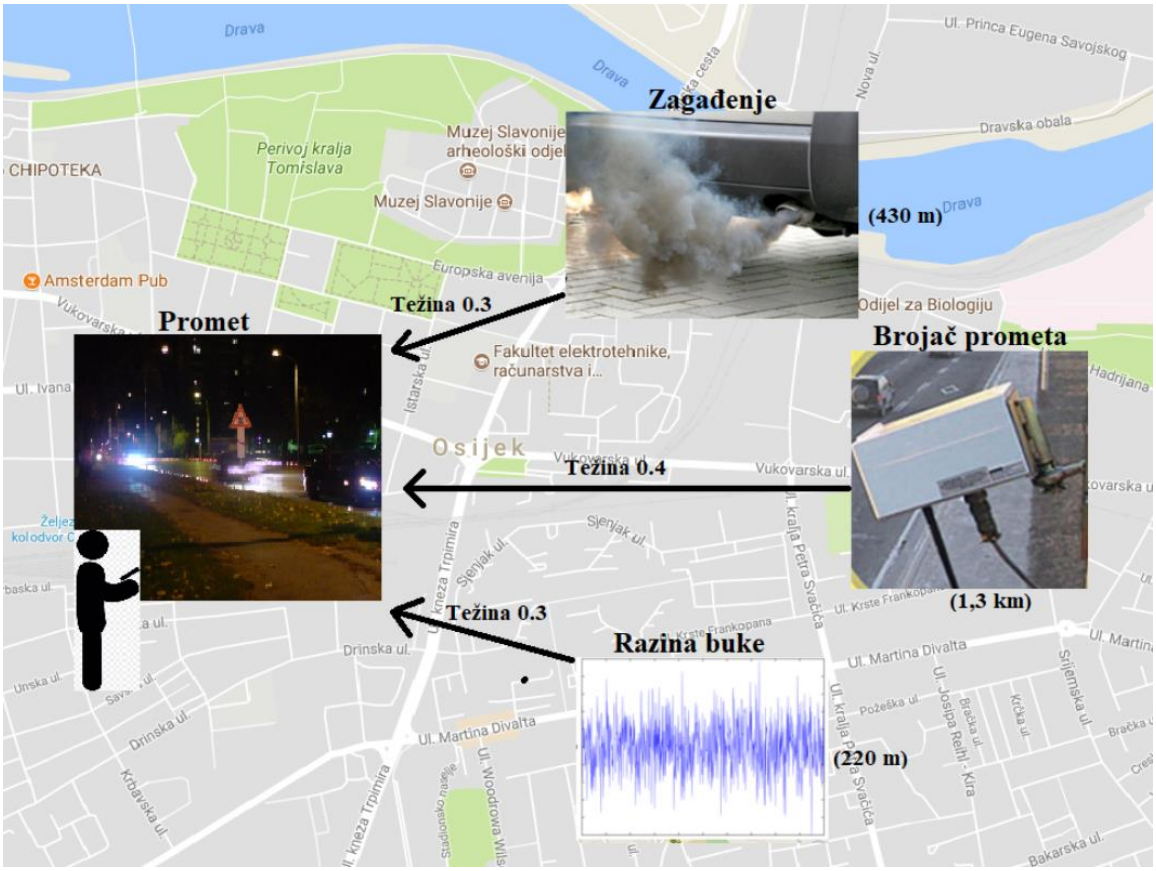
Potencijal autonomnih vozila za jačanje hrvatskog gospodarstva i promjene mobilnosti je neusporediv, premda nedostižan s obzirom na razvijenost i trenutnu prosječnu starost pojedinog vozila u RH. Inženjerske procjene upućuju na to da bi potpuno autonomna vozila mogla ukloniti 90 posto nesreća motornih vozila, a djelomično autonomna vozila oko 40 posto nesreća. U kontekstu hrvatskog prometa, hipotetsko uklanjanje 90 posto nesreća koje su se dogodile 2015. i 2016. godine [68] na regionalnim lokalnim cestama ekvivalent je oko 590 manje smrtnih slučajeva i oko 19600 manje prometnih nesreća s nastradalim osobama. Osim toga, ukupni ekonomski troškovi smrtnih slučajeva i ozljeda na lokalnim cestama u istom razdoblju bi se smanjili za milijunske iznose.

Vlada Velike Britanije odobrila je 2015. godine 19 milijuna dolara za financiranje pokusa četiri autonomna vozila diljem Velike Britanije koje se nalaze u Greenwichu, Bristolu, Milton Keynesu i Coventryju. Ova investicija je značajna budući da Vlada Velike Britanije predviđa

kako će industrija autonomnih vozila biti vrijedna više od 900 milijardi dolara do 2025. godine. Probne vožnje koje se odvijaju u Velikoj Britaniji olakšane su državnim sredstvima za potporu procesima autonomnih vozila na javnim cestama i razvijanjem sveobuhvatne strategije za pružanje dobrodošlice regulatornog okvira koji ima za cilj poticati i olakšati ispitivanje i proizvodnju autonomnih vozila [63].

### 4.4.12. Kombiniranje podataka (mashup)

*Mashup* je proces kombiniranja podataka i funkcionalnosti s više od jednog izvora. Grupira različite podatke koji se tada mogu upotrijebiti za razne usluge u pametnom gradu. Prijevoz temeljen na privatnim automobilima, uslugama javnog prijevoza i javnim biciklima zahtjeva odgovarajuća korisnička sučelja koja se mogu "spojiti" kako bi se omogućio integrirani pristup transportu koji se odnosi na vremenske uvjete, trenutne situacije u prometu i osobne preferencije. Takve nove potrebe za kombinacijom postojećih web usluga i njihovih temeljnih korisničkih sučelja su dobri primjeri *mashupa* [69].




Slika 4.4.1. Prikaz urbanog *mashupa*

Primjer urbanog *mashupa* prikazan je na slici 4.4.1. U ovom primjeru, senzori koji mjere razinu buke, onečišćenje i ulične kamere kombiniraju svoje podatke kako bi zaključili prometne uvjete koji postoje na Vukovarskoj ulici u Osijeku.

Dok mobilni korisnik luta u nekom urbanom području, vrlo je vjerojatno da će mu biti dostupni samo neki podaci o lokalnom stanju okoline. Zbog toga, njegovi urbani *mashupovi* ne mogu biti u potpunosti izvršeni, već samo valjani s nekom vjerojatnošću. Ta vjerojatnost ovisi o utjecaju pojedinog senzora na ukupni zaključak o nastanku nekog složenijeg događaja. Stoga, utjecaj svakog fizičkog događaja mora biti predstavljen nekom težinom. Na primjer, u gradskom mashupu na slici 4.4.1, šum utječe na promet s težinom od 0,3 (intuitivno s 30% vjerojatnosti).

Urbani *mashupi* mogu biti modelirani kao usmjereni aciklički grafikon, gdje težine predstavljaju vjerojatnosti aktualizacije događaja. Proširivanjem ovog usmjerenog grafikona moguće je stvoriti složenije odnose i postići neki napredniji zaključak o uvjetima okoline [70]. Na primjer, promet u kombinaciji s vremenskim uvjetima može potaknuti prijedlog (nekom građaninu) da koristi javni prijevoz pri odlasku na posao. Ovaj primjer je ilustriran na slici 4.4.2, pretpostavljajući da promet utječe na preporuku javnog prijevoza s težinom od 0,6, dok vremenski uvjeti imaju utjecaj od 0,4 do potvrde ovog događaja. Korisnički definiran vjerojatnosni prag odlučuje hoće li korisnik biti obaviješten o mogućem pokretanju *mashupa*, što odgovara nekom događaju.

Slika 4.4.2. Prikaz složenijeg *mashupa*

Broj relevantnih parametara utječe na učinkovitost zaključnog procesa. Ovi parametri mogu biti udaljenost svakog senzorskog uređaja od mobilnog korisnika, nadmorske visine svakog senzora od točke interesa, točnosti svakog uređaja i broja senzora koji nude istu uslugu.

Ovaj zadnji parametar može se usporediti s GPS uslugama, čija točnost ovisi o broju dostupnih satelita .

Bez sumnje, podržavanje urbanih *mashupova* nije trivijalni zadatak, jer senzorski uređaji koji pružaju usluge iz okoline trebaju biti globalno otkriveni u realnom vremenu, putem weba. Nažalost, WoT (*Web of Things*) još nije definirao protokole za automatsko otkrivanje fizičkih usluga – senzora [70].

# 5. ZAKLJUČAK

Pametni gradovi zadnjih godina postaju sve aktualnije teme. Promjena životnih stilova i sve veća potražnja za korisnim inovacijama zahtijevaju novi pristup koji se velikim dijelom oslanja na ICT područje. Internet stvari je jedna od temeljnih tehnologija u pametnom gradu koja omogućuje prepoznavanje i povezivanje senzorskih i drugih uređaja u svrhu pružanja digitalne usluge krajnjim korisnicima ili infrastrukturi. Kako bi IoT uređaji mogli optimalno funkcionirati, potrebno je primijeniti odgovarajuće komunikacijske tehnologije. Zbog svoje nesavršenosti, ali i sve većih zahtjeva korisnika, suvremene komunikacijske tehnologije ponekad nisu dovoljne za ispunjavanje tih uvjeta.

U uvodnom dijelu rada nabrojane su suvremene bežične komunikacijske tehnologije te grupirane prema njihovom dometu, od PAN do WMAN mreža. Nadalje, opisan je princip rada pojedine tehnologije, navedene glavne specifikacije te scenarij daljnjeg razvoja. Puno pažnje se pridaje WiMAX i LTE-A bežičnim tehnologijama koje korisnicima omogućuju visoke brzine prijenosa diljem grada, čak i ukoliko se korisnici kreću velikim brzinama, što je kod prijašnjih tehnologija stvaralo velike probleme pri održavanju stabilne veze. Pametni gradovi se sastoje i od pametnih stambenih objekata. Stoga su opisane tri niskoenergetske tehnologije (ZigBee, Z-Wave, Bluetooth) korištene za povezivanje IoT uređaja u domaćinstvima i zgradama koje se najviše razlikuju po složenosti te razini sigurnosti. Kako bi uređaji mogli optimalno funkcionirati važno je obratiti pažnju na korišteni frekvencijski spektar. Iz godine u godinu broj IoT uređaja se drastično povećava što rezultira sve većim zagušenjem frekvencijskog spektra te povećanjem interferencije među uređajima. Upravo je potreba za efikasnijim iskorištenjem frekvencijskog spektra jedna od glavnih razloga za razvoj 5G tehnologije koja će koristiti frekvencije i preko 50 GHz, što je dosad bilo nezamislivo zbog velikog slabljenja signala. Uz tehnologije koje će proširiti frekvencijski spektar, javljaju se i one koje će postojeći spektar znati puno bolje iskoristiti. Primjer su kognitivne radio mreže koje su se u stanju same isprogramirati kako bi odabrale optimalan frekvencijski spektar te vrstu modulacije i brzinu prijenosa. Također je bitno iskoristiti mogućnost interoperabilnosti između različitih tehnologija kao što je moguće s Bluetooth i NFC tehnologijom, gdje se mukotrpno povezivanje Bluetooth-om može riješiti jednostavnim prislanjanjem uređaja jedan uz drugi posredstvom NFC tehnologije.

U zadnjem poglavlju opisan je koncept pametnog grada te sadašnji i budući izazovi. Navedene su moguće primjene suvremenih i modernih tehnologija u raznim scenarijima

pametnog grada te već postojeće primjene nekih od njih u nekim svjetskim gradovima. Na kraju, obrađen je *case study* gdje je kombiniranjem podataka raznih senzora moguće korisniku aplikacije poslati obavijest o korištenju javnog prijevoza (autobusa ili tramvaja) pri odlasku na posao uslijed prevelike gužve u prometu. Dolazi se do zaključka kako je projekt pametnog grada još uvijek u svome začetku te su pred inženjerima godine mukotrpnog rada kako bi osigurali što kvalitetnije tehnologije za pojedina područja primjene.

# LITERATURA

[1] Enabling Communication Technologies for Smart Cities, IEEE Communications Magazine, str. 112-117, Siječanj 2017.

[2] T. Reynolds, The implications of WiMAX for competition and regulation, str. 9, 2006.

[3] Wireless networking, dostupno na https://www.cnet.com/how-to/home-networking-explained-part-1-heres-the-url-for-you/

[4] Wi-Fi, IEEE 802.11a, dostupno na: http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11a.php

[5] IEEE 802.11ac Gigabit WiFi, dostupno na: http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11ac-gigabit.php

[6] WiFi in the coming years. dostupno na: https://www.qualcomm.com/invention/research/projects/wi-fi

[7] WiMAX IEEE 802.16 technology tutorial, dostupno na: http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/wimax.php

[8] Understanding WiMAX technology standards, dostupno na: https://www.whatsag.com/G/Understanding_WiMAX.php

[9] How WiMAX works, dostupno na:http://wifinotes.com/wimax/how-wimax-works.html

[10] History of WiMAX, dostupno na: https://sites.google.com/site/wimaxwirelesstechnologies/history-of-wimax

[11] WiMAX IEEE standards, dostupno na: https://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_standards.htm

[12] WiMAX Forum, Smart Cities, dostupno na: http://wimaxforum.org/Page/Initiatives/Smart-Cities

[13] WiMAX, dostupno na: http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/marko/WiMax/WiMax/WiMax.htm

[14] LTE Basics, dostupno na: http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php

[15] Enabling Smart Cities With Mobile Broadband (Web Version), str. 2, dostupno na: http://www.enterprise.huawei.com/ilink/enenterprise/download/HW_373080

[16] M. Kaufmann, Smart Cities and Homes, Poglavlje 6.2.2.1 – 4G: 3GPPP LTE

[17] 4G LTE Advanced tutorial, dostupno na: http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/3gpp-4g-imt-lte-advanced-tutorial.php

[18] LTE/LTE-A Random Access for Massive Machine-Type Communications in Smart Cities, IEEE Communications Magazine, January 2017,str. 76

[19] The history of Bluetooth, dostupno na:http://www.techradar.com/how-to/computing/what-is-bluetooth-1323284

[20] How Bluetooth works, dostupno na: https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/how-it-works

[21] How does Bluetooth work, dostupno na: http://www.explainthatstuff.com/howbluetoothworks.html

[22] Piconets and Scatternets, Figure 1, dostupno na: http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=23760&seqNum=4

[23] Topology Configuration and Multihop Routing Protocol for Bluetooth Low Energy Networks , IEEE Communications, VOLUME 5, 2017, Introduction, str. 9587

[24] http://www.radio-electronics.com/info/wireless/zigbee/zigbee.php

[25] http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-characterstics.php

[26] On Enhancing Technology Coexistence in the IoT Era: ZigBee and 802.11 Case Volume 4 2016 IEEE Communications, str. 1835

[27] Z-wave tutorial, dostupno na:https://iotpoint.wordpress.com/z-wave-tutorial/

[28] Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices, dostupno na:http://www.vesternet.com/resources/technology-indepth/understanding-z-wave-networks

[29] Jonathan D. Fuller and Benjamin W. Ramsey, Rogue Z-Wave Controllers: A Persistent Attack Channel, Department of Electrical and Computer Engineering Air Force Institute of Technology, str 734-739, 2015.

[30] A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™, dostupno na: https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf

[31] LoRa Physical Layer & RF Interface, dostupno na: http://www.radio-electronics.com/info/wireless/lora/rf-interface-physical-layer.php

[32] Enabling Communication Technologies for Smart Cities IEEE Communications Magazine January 2017, Tablica 1

[33] IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 17, NO. 1, FIRST QUARTER2015 - A Survey on Software-Defined Networking (str 27.)

[34] What's Software Defined Networking (SDN)? Definition, dostupno na:https://www.sdxcentral.com/sdn/definitions/what-the-definition-of-software-defined-networking-sdn/

[35] SDN: Software Defined Networking, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/telecommunications_networks/sdn-software-defined-networking/basics-tutorial.php

[36] NFV: Network Functions Virtualization, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/telecommunications_networks/nfv-network-functions-virtualization/basics-tutorial.php

[37] Network Functions Virtualization Definition, dostupno na:https://www.sdxcentral.com/nfv/definitions/whats-network-functions-virtualization-nfv

[38] NFV and VNF difference, dostupno na: http://searchsdn.techtarget.com/answer/NFV-vs-VNF-Whats-the-difference

[39] Study paper on Network Function Virtualization (NFV) & Its impact on Future Telecom Networks, dostupno na:http://tec.gov.in/pdf/Studypaper/Network_Function_Virtualization%20.pdf

[40] A Superimposed Relaying Strategy and Power Allocation for Outdoor Visible Light Communications IEEE VOLUME 5, 2017, str. 9555

[41] Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges, dostupno na: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864816300335

[42] Cognitive Radio Networks, dostupno na:

http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/cognitive-radio-cr/networks.php

[43] Green networking, dostupno na:http://searchnetworking.techtarget.com/definition/green-networking

[44] International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) , Green Communications and Networking Systems – A Challenge to Current Communications and Protocols, str. 23, dostupno na: http://www.ijser.in/archives/v3i10/IJSER15498.pdf

[45] Overview for 6LoWPAN, dostupno na:http://www.ti.com/lsds/ti/wireless-connectivity/6lowpan/overview.page

[46] 6LoWPAN basics tutorial, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/wireless/6lowpan/basics-tutorial.php

[47] Thread – An Open Standard Protocol for Home Automation, dostupno na:https://www.infoq.com/articles/thread-protocol-for-home-automation

[48] Thread IoT Wireless Technology, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/wireless/thread/basics-tutorial.php

[49] Thread Overview pdf, dostupno na https://threadgroup.org/About

[50]Explaining SigFox, dostupno na: https://dzone.com/articles/explaining-sigfox

[51] SIGFOX for M2M & IoT, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/wireless/sigfox/basics-tutorial.php

[52] Neul Official website, dostupno na: http://www.neul.com/neul/?page_id=3614

[53] Weightless M2M Network & Architecture, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/wireless/weightless-m2m-white-space-wireless-communications/network-architecture.php

[54] NFC Near Field Communication Tutorial, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/wireless/nfc/near-field-communications-tutorial.php

[55] NFC Technology, dostupno na: http://www.radio-electronics.com/info/wireless/nfc/nfc-near-field-communications-technology.php

[56] 5G Mobile Wireless Technology, dostupno na:http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/5g-mobile-cellular/technology-basics.php

[57] The future of 5G and fast(er) internet connections, dostupno na:http://www.smartcitiesdive.com/news/the-future-of-5g-and-faster-internet-connections/439925/

[58] 5G: The Future of Communications Networks, dostupno na:http://theinstitute.ieee.org/technology-topics/communications/5g-the-future-of-communications-networks

[59] M. Kaufmann, Smart Cities and Homes, Poglavlje 1 – Introduction and overview of key enabling technologies for smart cities and homes

[60] Časopis Mreža, broj 11, studeni 2016., Pametni gradovi, str 66-78.

[61] Machina Research, dostupno na: https://machinaresearch.com/report/the-success-of-the-smart-city-depends-on-interoperability-achieved-through-standards-and-layered-architectures/

[62] Open Programmable City, Bristol, dostupno na: https://www.bristolisopen.com/

[63] IoT Alliance Australia, Enabling smart cities with IoT, dostupno na: http://www.iot.org.au/wp/wp-content/uploads/2016/12/IoTAA_EnablingSmartCitieswithIoTFinal.pdf

[64] Hudson Yards Engineered City, dostupno na: http://content.related.com/HYImages/2015-07/Engineered-City-Hi-Res.pdf

[65] LED lightning project, dostupno na: http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/vision/towards-2030/sustainability/carbon-reduction/led-lighting-project

[66] Overview of smart buildings, dostupno na: https://www.link-labs.com/blog/smart-building-overview

[67] Big Belly Solar Compactors, dostupno na: https://www.solarbins.com.au/features/big-belly-solar-bin/

[68] Državni zavod za statistiku, Analiza cestovnih prometnih nesreća za 2015. i 2016., dostupno na: https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2017/05-01-05_01_2017.htm i https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2016/05-01-08_01_2016.htm

[69] A Mashup-Based Application for the Smart City Problematic, Abstract, dostupno na: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-20916-6_63

[70] A. Kamilaris, Enabling smart homes using web technologies, University of Cyprus, 2012, poglavlje 4.2.7., dostupno na: https://www.cs.ucy.ac.cy/~akamil01/personal/kamilaris_PhD_thesis.pdf

## Popis i opis upotrijebljenih kratica

| | |
|---|---|
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project |
| 5G | 5th generation |
| 6LoWPAN | IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks |
| AP | Access point |
| BLE | Bluetooth low energy |
| BR/EDR | Basic Rate / Enhanced Data Rate |
| CA | Carrier Aggregation |
| CoMP | Coordinated Multipoint |
| CRN | Cognitive radio network |
| CSMA/CA | Carrier-Sense Multiple Access with collision avoidance |
| D2D | Device To Device |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| FDD | Frequency-division duplex |
| FEC | Forward error correction |
| GC | Green communication |
| GFSK | Gaussian Frequency Shift Keying |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| HSPA | High Speed Packet Access |
| ICT | Information and Communications Technology |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IETF | Internet Engineering Task Force |
| IoT | Internet of Things |
| IP | Internet Protocol |
| IPv6 | Internet Protocol version 6 |
| ISM | Industrial, Scientific and Medical |
| ISP | Internet Service Provider |
| IT | Information technology |
| ITS | Intelligent transport system |
| LAN | Local area network |
| LED | Light Emitting Diode |
| Li-Fi | Light Fidelity |
| LoRaWAN | Long Range Wide Area Network |
| LPWAN | Low Power Wide Area Network |
| LTE | Long Term Evolution |
| LTE-A | Long Term Evolution Advanced |
| M2M | Machine to Machine |
| MAC | Medium access control |
| MAN | Metropolitan Area Network |
| MIMO | Multiple-Input Multiple-Output |
| MTC | Machine-Type Communications |
| MTCD | Machine-Type Communication Devices |
| NFC | Near field communication |
| NFV | Network function virtualization |
| NFV-MANO | Network Functions Virtualization Management and Orchestration |

| | |
|---|---|
| OFDM | Orthogonal Frequency-Division Multiplexing |
| OFDMA | Orthogonal Frequency-Division Multiple Access |
| ONF | Open Network Foundation |
| P2P | Peer To Peer |
| PAN | Personal Area Network |
| PCIe | Peripheral Component Interconnect Express |
| PHY | Physical layer |
| PPP | Point to Point Protocol |
| PSK | Phase-Shift Keying |
| REED | Router-Eligible End Device |
| RF | Radio-Frequency |
| RFID | Radio-Frequency Identification |
| QAM | Quadrature amplitude modulation |
| QoS | Quality of Service |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| SAE | System architecture evolution |
| SDWN | Software defined wireless network |
| SISO | Single-Input Single-Output |
| SC-FDMA | Single-Carrier Frequency-Division multiple access |
| TCP/IP | Transmission Control Protocol / Internet Protocol |
| TDD | Time division duplex |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| UNB | Ultra-narrow band |
| USB | Universal Serial Bus |
| VLC | Visible light communication |
| VNF | Virtual network function |
| WAN | Wide Area Network |
| WiFi | Wireless Fidelity |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| WMAN | Wireless Metropolitan Area Network |
| WoT | Web of Things |
| WPAN | Wireless Personal Area Network |
| WSN | Wireless sensor network |

## Sažetak

Potreba za novim inovacijama i uslugama u okruženju pametnog grada rezultirala je primjenom većeg broja bežičnih tehnologija. Ekstremnim porastom broja pametnih uređaja i senzora te sve većim korisničkim zahtijevima dolazi do potrebe implementiranja novih vrsta tehnologija. U radu su opisane suvremene i buduće bežične komunikacijske tehnologije u okruženju pametnog doma i pametnog grada te opisan njihov budući razvoj. Uspoređene su trenutno najraširenije tehnologije i navedene njihove prednosti i mane. Predložen je mogući scenarij primjene bežičnih tehnologija za jedan hrvatski grad po uzoru na postojeće primjere iz ostalih svjetskih gradova koji teže projektu pametnog grada.

**Ključne riječi:** Pametni grad, senzori, internet stvari, mreža, bežične tehnologije, energija, podaci, sustav

## Abstract

Wireless Communication Technologies for Smart City Environment

The constant need for new innovations and services in surroundings of the smart city has resulted in increased usage of various wireless technologies. Extreme increase of smart devices in number and sensors along with stronger customer demands leads to increased need in implementing new types of technology. The paper describes modern and future wireless communication technologies surrounding a smart home and smart city, along with their future development. Technologies that are, currently, most widespread are compared with each other, thus exposing their advantages and disadvantages. Possible scenarios are submitted in which wireless technologies could be used in a Croatian city, making in smart. Also, some existing examples from other cities which strive towards the smart city project are described.

**Keywords:** Smart city, sensors, Internet of things, networks, wireless, energy, data, system

## Životopis

Vinko Žoldin je rođen 3.6.1995. godine u Vinkovcima. Živi u Slakovcima gdje je pohađao Osnovnu školu Slakovci. Nakon osnovne škole se upisuje u Tehničku školu Ruđera Boškovića u Vinkovcima, smjer elektrotehničar. 2014./2015. godine upisuje prvu godinu preddiplomskog studija elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, gdje se nakon prve godine opredjeljuje za smjer "komunikacije i informatika".

_____

(Potpis)