Bežične komunikacijske tehnologije za povezivanje Industrijskih IoT

Hnatek, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:200:905352

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

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

Smjer Elektroenergetika

BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE ZA POVEZIVANJE INDUSTRIJSKIH IoT

Završni rad

Luka Hnatek

Osijek, 2023.

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

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 18.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime Pristupnika:	Luka Hnatek
Studij, smjer:	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	A 4639, 27.07.2020.
OIB Pristupnika:	57826998452
Mentor:	mr. sc. Dražen Dorić
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Doc. dr. sc. Venco Ćorluka
Član Povjerenstva 1:	mr. sc. Dražen Dorić
Član Povjerenstva 2:	dr. sc. Krešimir Miklošević
Naslov završnog rada:	Bežične komunikacijske tehnologije za povezivanje Industrijskih IoT
Znanstvena grana završnog rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rada	U modernim industrijskim postrojenjima se traže načini za poboljšanje operativne efikasnosti, smanjenje troškova i povećanje ukupne učinkovitosti opreme kroz razne inicijative tzv. Industrije 4.0. Jeftina i brza komunikacija temelj je za industrijska IoT rješenja. Komercijalne IoT komunikacijske platforme su trenutno u intenzivnom širenju globalno, kao i u Republici Hrvatskoj. U okviru završnog rada potrebno je sačiniti pregled i usporedbu dostupnih IoT komercijalnih telemetrijskih tehnologija u RH, prikazati geografsku pokrivenost i planove daljeg širenja, te dati ilustrativne primjere.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	18.09.2023.

Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

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

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 08.10.2023.

Ime i prezime studenta:	Luka Hnatek
Studij:	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A 4639, 27.07.2020.
Turnitin podudaranje [%]:	3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Bežične komunikacijske tehnologije za povezivanje Industrijskih IoT**

izrađen pod vodstvom mentora mr. sc. Dražen Dorić

i sumentora ,

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

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD **1**
2. IoT **2**
2.1. Koraci za implementaciju IoT-a **3**
2.2. Senzori **4**
2.3. IoT i oblak (cloud) **5**
2.3.1. Međusobno djelovanje oblaka i podataka 5
2.3.2. IoT i oblak platforme za upravljanje uređajima 6
2.4. Strojno učenje **7**
2.4.1. Prednosti strojnog učenja 7
2.5. Umjetna inteligencija (AI) **8**
2.6. Prednosti i nedostatci IoT tehnologije **9**
3. INDUSTRIJE KOJE IMAJU KORISTI OD IoT-a **10**
4. INDUSTRIJSKI IOT (IIoT) **12**
4.1. Pametna proizvodnja **13**
4.1.1. Zašto bi tvrtke trebale usvojiti pametnu proizvodnju? 14
4.2. Pametne elektroenergetske mreže (Smart Grid) **14**
4.3. Pametni gradovi **14**
4.3.1. Pametni gradovi u Republici Hrvatskoj 15
4.4. Primjena IIoT-a (Internet of Things u industriji) **16**
4.5. Prednosti industrijskog IoT-a **17**
4.6. Rizici i izazovi IIoT-a **18**
5. BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE ZA INDUSTRIJSKI IoT **20**
5.1. 5G mreža **20**
5.1.1. Prednosti i nedostatci 5G mreže 21
5.1.2. Primjena 5G mreže 22
5.2. ZigBee **22**
5.2.1. Primjena ZigBee 23
5.3. LoRaWAN **24**
5.3.1. Prednosti i nedostatci LoRaWAN 25
5.4. Sigfox **26**

5.4.1. Prednosti i nedostatci Sigfox-a 26
5.4.2. Primjena Sigfox-a 27
5.5. NB – IoT 27
5.5.1. Prednosti i nedostatci NB-IoT 28
5.5.2. Primjena NB-IoT 28
6. USPOREDBA BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA 29
7. DIGITALIZACIJA OČITANJA PLINOMJERA 31
8. ZAKLJUČAK 33
9. LITERATURA 34
10. SAŽETAK 36
11. ABSTRACT 37
12. ŽIVOTOPIS 38

1. UVOD

U današnjem dobu brzog tehnološkog razvoja, Internet stvari (IoT) predstavlja revoluciju u načinu na koji se uređaji povezuju i komuniciraju međusobno. Industrijski sektor nije iznimka, jer sve više tvrtki prepoznaje potencijale industrijskog Internet stvari (IIoT) za optimizaciju operacija, poboljšanje efikasnosti i stvaranje novih poslovnih mogućnosti. Ključni element IIoT-a je pouzdana i sigurna bežična komunikacija koja omogućuje povezivanje velikog broja industrijskih uređaja. Bežične komunikacijske tehnologije igraju ključnu ulogu u ostvarivanju povezanosti između industrijskih IoT uređaja. Ove tehnologije omogućuju prijenos podataka i komunikaciju između senzora, uređaja i sustava, čime se omogućuje praćenje i kontrola industrijskih procesa u stvarnom vremenu. Međutim, odabir odgovarajuće bežične tehnologije za industrijsku primjenu nije jednostavan zadatak, jer su zahtjevi za pouzdanošću, sigurnošću energetskom učinkovitošću u industrijskom okruženju visoki.

Ovaj završni rad ima za cilj istražiti različite bežične komunikacijske tehnologije koji se koriste za povezivanje industrijskih IoT uređaja. Rad se bavi primjerima stvarne primjene bežičnih komunikacijskih tehnologija u industriji, uključujući senzore i umjetnu inteligenciju te pametnu energetiku i druge primjene koje pokazuju koristi bežične komunikacije u industrijskom okruženju.

2. IoT

IoT (Internet stvari) predstavlja mrežu fizičkih objekata, opremljenih senzorima i softverom, omogućujući im povezanost i razmjenu podataka putem interneta. Ovi objekti mogu biti svakodnevni predmeti ili industrijski alati, čineći IoT ključnom tehnologijom 21. stoljeća, integrirajući svakodnevne tehnološke predmete, poput kuhinjskih aparata, automobila, termostata, baby monitora, s internetom putem ugrađenih uređaja. To omogućuje besprijekornu komunikaciju između ljudi, procesa i stvari. Zahvaljujući jeftinom računarstvu, oblaku, velikim podacima, analitici i mobilnim tehnologijama, fizički objekti mogu dijeliti i prikupljati podatke s minimalnim ljudskim uplitanjem. Digitalni sustavi omogućuju bilježenje, nadzor i prilagodbu svake interakcije između povezanih objekata. Tako se fizički svijet susreće s digitalnim svijetom i surađuju zajedno kako bi poboljšali različite aspekte naših života. [1].

Ideja o IoT postojala već dugo vremena, a nedavni napredak u raznim tehnologijama učinio ju je praktičnom[1]:

- pristup jeftinoj i energetski učinkovitoj senzorskoj tehnologiji,
- pristupačni i pouzdani senzori omogućuju većem broju proizvođača korištenje IoT tehnologije.
- povezanost, razne mrežne protokole za internet olakšavaju povezivanje senzora s oblakom i drugim "stvarima" radi učinkovitog prijenosa podataka,
- platforme za računanje u oblaku, povećanje dostupnosti oblak platformi omogućuje i poslovnim subjektima i potrošačima pristup infrastrukturi potrebnoj za skaliranje, a da pritom ne moraju upravljati svime,
- strojno učenje i analitika, omogućuje tvrtkama brže i lakše prikupljanje uvida,
- konverzacijska umjetna inteligencija (AI). napredak u neuronskim mrežama doveo je obradu prirodnog jezika na IoT uređaje i učinio ih privlačnim, pristupačnim i korisnim za kućnu upotrebu.

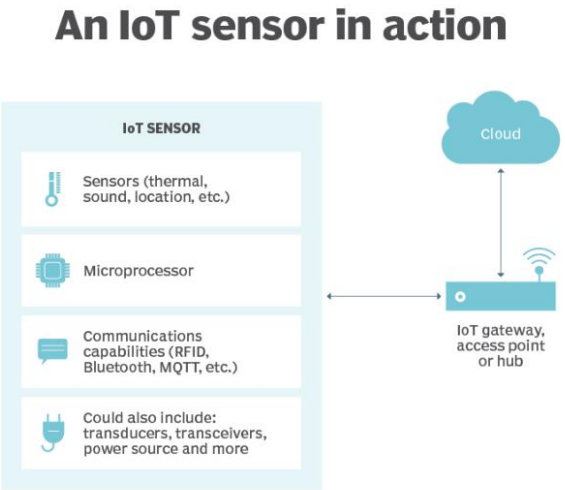
2.1. Koraci za implementaciju IoT-a

Uspješna implementacija IoT-a, Internet of Things, predstavlja ključni faktor za unaprjeđenje poslovanja i ostvarivanje očekivanja. Prvi korak u ovom procesu jest postavljanje jasnih i efikasnih poslovnih ciljeva. To zahtijeva razmatranje kratkoročnih i dugoročnih izazova koje organizacija želi riješiti putem IoT-a, te precizno definiranje ciljeva za njihovo rješavanje. Osim toga, bitno je odabrati pravi pristup za rješavanje tih problema. Nakon postavljanja ciljeva, istraživanje dokazanih slučajeva korištenja IoT-a postaje ključno. To omogućava organizaciji da nauči iz iskustava drugih i identificira najbolje prakse. Na taj način, mogu se izbjeći potencijalni problemi i greške u implementaciji. Odabir odgovarajućeg hardvera, poput senzora i uređaja za povezivanje, također je ključan korak. Senzori igraju vitalnu ulogu u prikupljanju podataka iz stvarnog svijeta, dok uređaji za povezivanje omogućuju komunikaciju tih podataka s mrežom. Odabir pravog hardvera treba biti temeljen na specifičnim potrebama projekta. Nakon što su postavljeni ciljevi i odabran potrebni hardver, organizacija treba odabrati odgovarajuće IoT alate i platforme. Ovi alati omogućuju centralizaciju i kontrolu svih aspekata IoT sustava. Odabrani alati trebaju biti usklađeni s potrebama projekta i pružiti podršku za siguran i učinkovit prijenos podataka. Uvođenje IoT-a zahtijeva multidisciplinarni tim stručnjaka koji će zajednički raditi na dizajniranju i testiranju prototipa sustava. Ovaj proces omogućuje organizaciji da identificira potencijalne probleme i optimizira dizajn prije stvarne implementacije. Prikupljanje korisnih podataka je ključno za uspješnu implementaciju. Senzori prikupljaju podatke iz stvarnog svijeta, koji se zatim obrađuju i pohranjuju u sigurnim bazama podataka. Ovi podaci često postaju sirovina za analitiku i donošenje poslovnih odluka. Analitika, uključujući "hot" (brza) i "cold" (dugoročna) analizu podataka, omogućuje organizaciji da dobije uvid u svoje poslovanje. Brza analitika fokusira se na trenutne događaje i omogućava brze reakcije, dok dugoročna analitika pruža uvid u trendove i obrasce koji se razvijaju tijekom vremena. Strojno učenje ima sve veću ulogu u IoT implementacijama. Ova tehnologija koristi algoritme umjetne inteligencije kako bi analizirala podatke i identificirala obrasce koji bi bili teško primjetni ljudima. To omogućava organizacijama da unaprijede svoje procese i donesu informirane odluke. Napokon, svjesnost o sigurnosti je od suštinskog značaja u IoT implementacijama. Kako se sve više uređaja povezuje na internet, potrebno je osigurati da su podaci zaštićeni od potencijalnih prijetnji. To uključuje upotrebu sigurnosnih mjera kao što su enkripcija podataka, autentifikacija i praćenje sigurnosnih događaja. U cjelini, uspješna implementacija IoT-a zahtijeva temeljno razumijevanje i pažljivo planiranje. Ovi koraci zajedno čine put prema unaprjeđenju poslovanja i ispunjenju potencijala koji IoT tehnologija nudi[2].

2.2. Senzori

Senzor je uređaj koji otkriva i reagira na neku vrstu ulaza iz fizičkog okruženja. Ulaz može biti svjetlost, toplina, pokret, vlaga, tlak ili bilo koji drugi okolišni fenomen. Izlaz je obično signal koji se pretvara u lako čitljiv prikaz na samoj lokaciji senzora ili se elektronički prenosi putem mreže radi čitanja ili daljnje obrade. Senzori igraju ključnu ulogu u internet stvari (IoT). Oni omogućuju stvaranje ekosustava za prikupljanje i obradu podataka u određenom okruženju kako bi se olakšalo i učinkovitije nadziralo, upravljalo i kontroliralo. IoT senzori se koriste u kućama, na terenu, u automobilima, na zrakoplovima, u industrijskim postavkama i u drugim okruženjima. Senzori premošćuju jaz između fizičkog svijeta i logičkog svijeta, djelujući kao oči i uši za računalnu infrastrukturu koja analizira i djeluje na podatke prikupljene od senzora[3].

IoT senzori (slika 1) i mrežna oprema su dizajnirani s naglaskom na vrlo nisku potrošnju energije, što omogućuje njihov rad na baterijsko napajanje tijekom 10 ili više godina. Ova karakteristika pruža iznimnu fleksibilnost postavljanja uređaja na lokacijama gdje izvori napajanja nisu dostupni ili gdje žično povezivanje s internetom nije moguće. Ta fleksibilnost, uz nisku cijenu uređaja, omogućuje praćenje brojnih parametara koji su ranije bili nepristupačni ili preskupi za praćenje. Zahvaljujući IoT rješenjima, moguće su brojne potencijalne uštede, jer se omogućuje nadzor i upravljanje putem udaljenog pristupa, optimizacija i automatizacija procesa, praćenje ključnih parametara te mnoge druge primjene [4].



Slika 1. Dijagram koji prikazuje IoT senzor u akciji [3]

2.3. IoT i oblak (cloud)

Oblak, poznat i kao *"Cloud"* u engleskom jeziku, predstavlja skup udaljenih poslužitelja dostupnih putem Interneta. To je infrastruktura koja omogućuje korisnicima pristup softveru, uslugama i pohranjenim podacima na tim poslužiteljima. Oblak poslužitelji su distribuirani u podatkovnim centrima diljem svijeta, čime omogućuju korisnicima i tvrtkama da izbjegnu samostalno upravljanje fizičkim poslužiteljima i pokretanje softverskih aplikacija na vlastitim strojevima putem računalstva u oblaku[5].

U svijetu pokretanom podacima s ubrzanim digitalnim rastom, mnogi pružatelji usluga oblaka sada razvijaju specifična rješenja za podatke i IoT, omogućavajući organizacijama da bolje upravljaju i nadziru svoje aktivnosti, uz stalno suočavanje s izazovima vezanim uz sigurnost, infrastrukturu i povezanost. Međutim, industrije oblaka, velikih podataka i IoT-a udružuju snage kako bi ublažile ove izazove[6].

2.3.1. Međusobno djelovanje oblaka i podataka

Jedan od najvažnijih faktora koji ubrzava digitalna putovanja je platforma oblaka. Od modernizacije poslovanja i aplikacija, do centralizacije podataka i razvoja oblak aplikacija, suvremene organizacije teško mogu funkcionirati bez podataka[6].

Iskorištavanjem oblak platformi, organizacije su naučile kako:

- razvijati digitalne platforme
- istaknuti se uz pomoć podataka
- unovčiti podatke

Dok je povećana digitalizacija ključna za omogućavanje putem softverskih aplikacija, oblak osigurava pristupačnost na sljedeće načine[6]:

1. Povećanje mogućnosti suradnje: korištenjem oblaka, više korisnika može istovremeno pristupati, dijeliti i surađivati na istim podacima i aplikacijama, što olakšava timski rad, udaljenu suradnju i koordinaciju među korisnicima.
2. Povećanje pristupa na zahtjev putem modela plaćanja po potrebi: što znači da korisnici mogu koristiti potrebne resurse samo kada im je to potrebno.

3. Pružanje sveobuhvatnih platformi za analizu velikih količina podataka: oblak pruža napredne analitičke platforme koje omogućavaju organizacijama analizu i obradu velikih volumena podataka.

2.3.2. IoT i oblak platforme za upravljanje uređajima

Pretpostavka nalaže kako će IoT u idućim godinama težiti razvoju i postati još snažniji dio ljudskih života nego što je trenutno. Postoje mnogi vodeći pružatelji usluga u oblaku koji igraju važnu ulogu u podržavanju IoT tehnologije kao što su[6]:

- Google Cloud IoT; Google je pokrenuo platformu za razvoj IoT-a temeljenu na svojoj kompletnoj Google Cloud Platformi. Od prikupljanja podataka do dobivanja uvida, tvrtke sada mogu iskoristiti širok spektar GCP-ovih IoT platformi kako bi dobile vrijedne informacije iz podataka uređaja.
- Microsoft Azure: jedan od najrazgovjetnijih sustava otvorenog koda koji je dizajniran za maksimalnu interoperabilnost je Microsoftova Azure IoT platforma. Azure IoT Hub i Azure digitalni blizanci omogućuju korisnicima izgradnju prilagođenih rješenja za složene izazove IoT-a.
- Amazon Web Services: AWS nudi sveobuhvatna rješenja za IoT, povezujući i upravljajući milijardama uređaja. Putem Aws-ove IoT platforme, moguće je ubrzati inovacije, osigurati aplikacije putem oblaka te izgraditi inteligentna rješenja s integracijom AI i ML.
- Snowflake platforma za IoT: Snowflakeova platforma pruža skalabilnu arhitekturu se potrebnu za prikupljanje raznolikih skupova podataka. Integracijom s drugim javnim oblak platformama, Snowflake je odličan izbor za obradu ogromne količine podataka koje generiraju uređaji IoT-a.
- Cisco IoT Cloud Connect: namijenjen mobilnim operaterima, Cisco IoT Cloud Connect platforma fokusira se na upravljanje i automatizaciju isporuke usluga IoT-a, ciljajući mobilne mrežne operatere. S kompletnim skupom značajki i funkcija u industriji, platforma omogućuje brže lansiranje na tržište.

2.4. Strojno učenje

Strojno učenje je grana umjetne inteligencije i računalnih znanosti koja se usredotočuje na korištenje podataka i algoritama kako bi simulirala način na koji ljudi uče, postupno poboljšavajući svoju preciznost[7].

Ključ za maksimiziranje poslovne učinkovitosti leži u automatizaciji poslovnih procesa pomoću inteligentnih sustava. U današnjem stalno razvijajućem globalnom gospodarstvu, ova automatizacija je neophodna za postizanje konkurentske prednosti. Strojno učenje igra ključnu ulogu kao temeljni element ovog napora, jer omogućuje povećanje vrijednosti proizvoda ili usluge. Ova tehnologija koristi statističke modele i algoritme za predviđanje podataka i klasifikaciju, što proširuje granice mogućih rješenja daleko izvan klasičnog računalnog programiranja i otvara put prema području umjetne inteligencije[8].

Umjetna inteligencija i strojno učenje već su doveli do značajnih promjena u načinu na koji tvrtke obavljaju svoje operacije. Ove tehnologije se sve više implementiraju u ključne operacije, kao što su marketing i prodaja, upravljanje lancem opskrbe, korisnička podrška i kibernetička sigurnost. Tvrtke su prepoznale vrijednost ovih novih tehnologija i aktivno ih primjenjuju kako bi poboljšale učinkovitost i konkurentnost na tržištu.

2.4.1. Prednosti strojnog učenja

Prednosti strojnog učenja su mnogobrojne, a neke od njih su[8]:

- pravodobno donošenje ispravne odluke može biti ključno za uspjeh poslovanja. Moderne tehnologije, posebno strojno učenje, omogućuju tvrtkama da prikupljaju, analiziraju i integriraju točne podatke u svoje svakodnevno poslovanje. Strojno učenje omogućuje brzu transformaciju velikih skupova podataka u relevantno znanje, što tvrtkama omogućuje donošenje proaktivnih mjera i održavanje konkurentske prednosti.

- kibernetičke prijetnje često se događaju u stvarnom vremenu, što zahtijeva brzu i učinkovitu reakciju kako bi se osigurala sigurnost mreže. Tvrtke moraju prepoznati sve neuobičajene mrežne aktivnosti i radnje prije nego što se napad eskalira u potpuni sigurnosni proboj, curenje informacija ili prekid pružanja usluga. Strojno učenje i algoritmi mogu značajno pomoći u

detekciji anomalija u ponašanju i radu mreže, omogućujući bolju zaštitu i obranu od kibernetičkih prijetnji.

- velike tvrtke dominiraju tržištem i ostvaruju značajan tržišni udio, dok manje tvrtke često teže konkurentske prednosti putem drugih faktora kako bi održale profitabilnost. U slučaju malih i srednjih tvrtki, ta prednost obično proizlazi iz upotrebe inovativnih tehnologija, usluga i poslovnih modela.

2.5. Umjetna inteligencija (AI)

Slikom 2. prikazana je upotreba umjetne inteligencije (AI) koja u današnje vrijeme omogućuje uređajima da simuliraju ljudske aktivnosti poput razmišljanja, učenja, planiranja i kreativnosti. Ova tehnologija omogućuje računalima da opažaju svoje okruženje, analiziraju vizualne podatke i rješavaju zadatke kako bi postigli svoje ciljeve. Računalni sustavi prikupljaju podatke iz različitih izvora, uključujući senzore poput kamera, te ih obrađuju kako bi pružili relevantne odgovore. Sustavi umjetne inteligencije su fleksibilni i mogu prilagoditi svoje ponašanje putem analize prethodnih iskustava, omogućavajući im samostalno djelovanje. Unatoč tome što su neki oblici AI prisutni već više od pola stoljeća, napredak u računalnoj snazi, obilje dostupnih podataka i napredni algoritmi su donijeli revolucionarne promjene u ovom području u posljednjem desetljeću. Umjetna inteligencija je sada ključni element u digitalnoj transformaciji društva i predstavlja prioritetnu agendu Europske unije. Iako se očekuje da će AI donijeti značajne promjene u budućnosti, njegov trenutni utjecaj na svakodnevni život ljudi već je dubok[9].

Slika 2. Info grafika o upotrebi umjetne inteligencije [9]

2.6. Prednosti i nedostatci IoT tehnologije

IoT (Internet stvari), poput svih razvijenih sustava, donosi sa sobom niz prednosti i nedostataka koji oblikuju njegovu ulogu u današnjem tehnološkom okruženju. Prednosti IoT-a su brojne. Prvenstveno, omogućava efikasno upravljanje resursima, što znači da korisnici bolje razumiju funkcionalnosti i način rada sustava, čime se postiže učinkovitija upotreba resursa. Također, IoT smanjuje ljudski napor, jer uređaji međusobno komuniciraju i obavljaju zadatke, čime se olakšava i ubrzava svakodnevna rutina. Ušteda vremena je također ključna prednost, jer automatizirano prikupljanje podataka putem ugrađenih senzora znači da se procesi odvijaju brže i preciznije. Također, IoT poboljšava suradnju među fizičkim uređajima, omogućavajući bolje razumijevanje cjelokupnog sustava i bržu detekciju eventualnih problema ili anomalija. No, unatoč mnogim prednostima, IoT nosi i određene nedostatke. Jedan od glavnih izazova je sigurnost, budući da rad na mreži otvara vrata različitim mrežnim prijetnjama i ranjivostima. Također, IoT sustavi često uključuju velike količine osjetljivih osobnih podataka, što postavlja pitanja privatnosti i sigurnosti tih informacija. Nadalje, izgradnja i održavanje IoT sustava zahtijeva značajna ulaganja u dizajn, razvoj, puštanje u pogon i održavanje, te se postavlja izazov kompatibilnosti svih dijelova sustava kako bi se osiguralo njegovo ispravno funkcioniranje.

3. INDUSTRIJE KOJE IMAJU KORISTI OD IoT-a

Industrije koje profitiraju korištenjem IoT-a su one koje ostvaruju korist korištenjem senzorskih uređaja u svojim poslovnim procesima[1]:

- Proizvodnja

Proizvođači mogu ostvariti konkurentsku prednost korištenjem praćenja proizvodne linije kako bi omogućili preventivno održavanje opreme kada senzori otkrivaju predstojeći kvar. Senzori mogu zapravo mjeriti kada je proizvodnja narušena. Uz pomoć obavijesti senzora, proizvođači mogu brzo provjeriti opremu ili je ukloniti iz proizvodnje dok se ne poprave. To omogućuje tvrtkama smanjenje troškova poslovanja, bolju dostupnost i poboljšano upravljanje performansama i imovine.

- Automobilski sektor

Automobilska industrija može ostvariti značajne prednosti primjenom IoT aplikacija. Osim prednosti primjene IoT-a na proizvodnoj liniji, senzori mogu otkriti predstojeći kvar opreme na vozilima koja već voze na cestama i mogu upozoriti vozača s detaljima i preporukama. Zahvaljujući agregiranim informacijama prikupljenim putem IoT aplikacija, proizvođači automobila i dobavljači mogu saznati više o održavanju vozila i obavijestiti vlasnike vozila.

- Transport i logistika

Transportni i logistički sustavi imaju koristi od različitih IoT aplikacija. Flote automobila, kamiona, brodova i vlakova koji prevoze inventar mogu biti preusmjereni na temelju vremenskih uvjeta, dostupnosti vozila ili dostupnosti vozača, zahvaljujući podacima senzora IoT-a. Sam inventar također može biti opremljen senzorima za praćenje i kontrolu temperature. Industrije hrane i pića, cvijeće i farmaceutska industrija često prevoze inventar osjetljiv na temperaturu koji je imao velike koristi od IoT aplikacija za praćenje koje šalju upozorenja kada temperature porastu ili padnu na razinu koja prijeti proizvodu.

- Maloprodaja

IoT aplikacija omogućuje maloprodajnim tvrtkama upravljanje inventarom, poboljšanje korisničkog iskustva, optimizaciju lanca opskrbe i smanjenje operativnih troškova. Na primjer,

pametne police opremljene senzorima težine mogu prikupljati informacije putem RFID-a i slati podatke na IoT platformu radi automatskog praćenja inventara i slanja upozorenja ako se artikli smanjuju. Beaconi mogu slati ciljane ponude i promocije kupcima kako bi pružili angažirajući iskustvo.

- Javni sektor

Prednosti IoT-a u javnom sektoru i drugim uslužnim okruženjima također su širokog raspona. Na primjer, javna poduzeća mogu koristiti IoT aplikacije za obavještavanje korisnika o masovnim prekidima usluga, pa čak i manjim prekidima vode, struje ili kanalizacije. IoT aplikacije mogu prikupljati podatke o obuhvatu prekida i mobilizirati resurse kako bi pomogle poduzećima da se brže oporave od prekida.

- Zdravstvo

IoT praćenje imovine pruža brojne koristi zdravstvenoj industriji. Liječnicima, medicinskim sestrama i bolničarima često je potrebno znati točnu lokaciju pomoćnih sredstava za pacijente poput invalidskih kolica. Kada su invalidska kolica u bolnici opremljena senzorima IoT-a, mogu se pratiti putem IoT aplikacije za praćenje imovine kako bi ih bilo lako pronaći. Mnoga bolnička sredstva mogu se pratiti na ovaj način kako bi se osigurala pravilna upotreba, ali i financijsko računovodstvo za fizičku imovinu u svakom odjelu.

- Opća sigurnost u svim industrijama

Osim praćenja fizičke imovine, IoT se može koristiti za poboljšanje sigurnosti radnika. Zaposlenici u opasnim okruženjima poput radnika, naftnih polja i kemijskih i energetskih postrojenja, na primjer, moraju biti obaviješteni o nastavku opasnog događaja koji bi ih mogao ugroziti. Kada su povezani s aplikacijama temeljenim na IoT senzorima, mogu biti obaviješteni o nesrećama ili spašeni iz njih što je brže moguće. IoT aplikacije se također koriste za nosive uređaje koji mogu pratiti ljudsko zdravlje i uvjete okoline. Ove vrste aplikacija ne samo da pomažu ljudima bolje razumjeti vlastito zdravlje već i omogućavaju liječnicima daljinsko praćenje pacijenata.

4. INDUSTRIJSKI IOT (IIoT)

Industrijski IoT (IIoT) predstavlja primjenu IoT tehnologije u industrijskim okruženjima, posebno u području instrumentacije, upravljanja senzorima i uređajima koji koriste tehnologije oblaka. Primjer upotrebe tvrtke Titan odličan je ilustrativni primjer IIoT-a. Ranije su industrije koristile komunikaciju između strojeva (M2M) kako bi postigle bežičnu automatizaciju i kontrolu. Međutim, s dolaskom oblaka i povezanih tehnologija, poput analitike i strojnog učenja, industrije su otvorile nove mogućnosti u automatizaciji, stvarajući novi sloj efikasnosti i omogućujući stvaranje novih modela prihoda i poslovanja. IIoT se ponekad naziva i četvrtim valom industrijske revolucije ili Industrijom 4.0[1].

Glavni poticaj za IIoT proizlazi iz pametnih strojeva, a to iz nekoliko razloga. Prvo, pametni strojevi sposobni su hvatati i analizirati podatke u stvarnom vremenu na način koji ljudi ne mogu. Drugo, ovi strojevi omogućuju jednostavan i brz prijenos rezultata, što ubrzava proces donošenja preciznih poslovnih odluka. Primjena IIoT-a obuhvaća različite industrijske sektore, uključujući proizvodnju, logistiku, naftu i plin, transport, rudarstvo, zrakoplovstvo, energetiku i druge. Njegov fokus leži u optimizaciji operacija, posebno kroz automatizaciju procesa i poboljšano održavanje. IIoT sposobnosti unapređuju performanse imovine te osiguravaju učinkovitije održavanje. S vremenom, industrije se kreću prema modelu pružanja usluga na zahtjev, što povećava bliskost s klijentima i stvara nove izvore prihoda, što sve zajedno pridonosi digitalnoj transformaciji industrijskog sektora[11].

Uobičajena primjena IIoT-a [1] :

- pametna proizvodnja
- povezana imovina i preventivno održavanje
- pametne elektroenergetske mreže
- pametni gradovi
- povezana logistika

4.1. Pametna proizvodnja

Pametna proizvodnja predstavlja sveobuhvatnu digitalizaciju proizvodnih procesa, obuhvaćajući cijeli lanac proizvodnje i poslovanja, od same tvornice do aspekata kao što su dizajn proizvoda, lanac opskrbe, proizvodnja, distribucija i prodaja. Ključna karakteristika pametne proizvodnje je integracija industrije 4.0, koja se temelji na povezanim cyber-fizičkim sustavima, koji uključuju inteligentne robote i strojeve koji su u stanju samostalno dijagnosticirati i prepoznati potencijalne kvarove ili probleme (slika 3.). S rastućim trendom Interneta stvari (IoT), sve moćniji uređaji i strojevi opremljeni pametnim senzorima neprestano šalju podatke u oblak radi analize i daljnje optimizacije proizvodnih procesa[12].

Slika 3. Suradnja robota i čovjeka [12]

Skupovi podataka poznati kao "veliki podaci" koriste se kako bi se umjetna inteligencija i strojno učenje što više unaprijedili i postali precizniji i predvidljiviji kako prikupljaju sve više podataka. Ova obilježja omogućuju automatizaciju i povezanost podataka, što stvara agilnije lance opskrbe, omogućujući brodovima, kamionima, skladištima, autonomnim ili polu autonomnim vozilima te dronovima "razgovarati" međusobno. U ovom procesu uključeni su mobilni roboti i koboti (kolaborativni roboti), što automatizira dostavu i logistiku. Pametna proizvodnja ima ključnu ulogu u

potpori proizvođačima kako bi postigli veću učinkovitost, ostali konkurentni te istraživali nove poslovne pristupe i strategije[12].

4.1.1. Zašto bi tvrtke trebale usvojiti pametnu proizvodnju?

Pametna proizvodnja postaje ključni korak za tvrtke kako bi postigle optimizaciju i ubrzanje svojih procesa, povećale produktivnost, ostvarile konkurentsku prednost te se diferencirale od drugih na tržištu. Osim toga, omogućuje pripremu za budućnost i nosi se s izvanrednim događajima. Neprofitna organizacija Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA) trenutno provodi anketu koja istražuje glavne izazove koji usporavaju tvrtke u njihovom napretku prema pametnoj proizvodnji. Dosadašnji rezultati pokazuju da 58% sudionika ankete ističe financijske probleme ili nedostatak znanja o relevantnim tehnologijama kao ključne prepreke. Važno je napomenuti da implementacija pametne proizvodnje zahtijeva značajna ulaganja, kako financijska tako i ljudska, te nosi određene rizike. Međutim, investicije u pametnu proizvodnju donose brojne koristi tvrtkama, osiguravajući im konkurentske prednosti i otpornost na promjenjive tržišne uvjete[12].

4.2. Pametne elektroenergetske mreže (Smart Grid)

Smart Grid je suvremeni sustav distribucije električne energije od proizvodnje do potrošnje. Integrira napredne tehnologije i osjetilne elemente za optimizaciju resursa, smanjenje troškova i povećanje pouzdanosti. Pametna mreža djeluje kao inteligentni sustav za praćenje i učinkovitu distribuciju energije. U svijetu gdje je ekološka održivost ključna, važno je pronaći ekonomične načine za smanjenje potrošnje energije. Pametna mreža upravlja slično kao financijska institucija, postižući dobit kroz obnovljivu energiju i usklađivanje primanja putem mjerača. Ključna komponenta je "Peak Load Management" za brzu reakciju na potražnju, a distribuirane tehnologije za pohranu omogućuju čuvanje i povrat čiste energije tijekom izvanrednih razdoblja[13].

4.3. Pametni gradovi

U literaturi naziv pametni grad (eng. smart city) smatra se sposobnosti grada da na efikasan i učinkovit način te u minimalnom vremenu zadovolji potrebe građana. Primarnim ciljem misije pametnog grada smatra se optimizacija gradske funkcionalnosti te poticanje gospodarskog rasta, uz istovremeno poboljšanje kvalitete života građana putem pametne tehnologije i analize podataka.

Koristeći informacijske i komunikacijske tehnologije pametni grad povećava operativnu učinkovitost, osigurava bolju razmjenu informacija s populacijom uz unaprjeđivanje kvalitete usluga i njihovu dobrobit[15].

Pametni gradovi predstavljaju rješenje za novonastale prepreke koje proizlaze iz eksplozivnog povećanja broja stanovništva i organizacija. S porastom stanovnika, gradovi 21. stoljeća suočavaju se s povećanim izazovima i rizicima, a najveći među njima je učinkovito upravljanje gradom[16].

Današnjica donosi različite izazove poput klimatskih promjena, zagađenja okoliša, prometa, pretjerane potrošnje energije i slično. Gradovi se suočavaju s tim problemima te kako bi im se uspješno suprotstavili, potrebna su pametna rješenja koja će omogućiti ekonomski napredak i bolju dobrobit za njihove stanovnike. Model pametnog grada nudi upravo takve inovativne pristupe, osiguravajući da gradovi budu održivi i učinkoviti u suočavanju s izazovima današnjice[17].

Smisao pametnih gradova je ostvariti efikasan i drugačiji pristup upravljanju gradom, uz korištenje suvremenih tehnologija. Primjena napredne tehnologije transformira stanovnike, gradove i društvo u inteligentnu i pametnu zajednicu. Važno je naglasiti da se inovativna rješenja prilagođavaju zahtjevima gradova i njihovih građana. Koristeći ove pristupe, gradovi mogu unaprijediti gospodarsku sliku i stvoriti urbanu sredinu koja je prikladna i ugodna za život[18].

4.3.1. Pametni gradovi u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska smatra se zemljom drugog reda kad je riječ o novim tehnološkim idejama, ali polako napreduje. Brojeći 128 hrvatskih gradova, nekolicina, tek njih četrdeset razvija pametne gradove s inovativnim rješenjima za bolji život. Većina gradova sudjeluje u projektima pametnih gradova i planira izdvojiti financijska sredstva za to. Bitni segmenti pametne mobilnosti su primjena informacijsko-komunikacijske tehnologije, korištenje pametnog javnog prijevoza te pametni parking sustavi. Trenutno su u primjeni rješenja poput kontrole kvalitete zraka i nadzora prometa. Istraživanje ukazuje na buduće planove implementacije pametne tehnologije za parkiranje, promet i javni prijevoz. Primjeri gradova s napretkom u pametnoj tehnologiji uključuju Čakovec s pametnom rasvjetom, Pulu s e-upravom, Zagreb s energetskom obnovom i projektima održivog prijevoza. Dubrovnik se fokusira na optimizaciju odvoza otpada, a Rovinj je uveo koncept "SMART Rovinj" za bolje upravljanje

gradom. Hrvatska ima Nacionalnu razvojnu strategiju do 2030. s naglaskom na razvijanje pametnih gradova i otoka, koja se ostvaruje putem sredstva iz Europskih fondova za regionalni razvoj. Gradovi sudjeluju u projektu "Pametni gradovi - gradovi budućnosti", natječući se u kategorijama pametne energetike/okoliša, pametnog prometa, pametne uprave i pametnog života[15].

4.4. Primjena IIoT-a (Internet of Things u industriji)

U ovom potpoglavlju autor rada navodi primjere primjene IIoT-a u realnom životu [19]:

- U stvarnom primjeru primjene IIoT-a u pametnoj robotici, tvrtka ABB, specijalizirana za energetiku i robotiku, koristi povezane senzore kako bi pratila potrebe održavanja svojih robota i omogućila popravke prije nego što dođe do kvara dijelova.

- Airbus, proizvođač komercijalnih aviona, pokrenuo je inicijativu koju naziva "tvornica budućnosti", digitalnu proizvodnu inicijativu koja ima za cilj optimizaciju operacija i povećanje proizvodnje. Airbus je integrirao senzore u strojeve i alate na proizvodnoj liniji te opremio zaposlenike s nosivom tehnologijom, na primjer, industrijskim pametnim naočalama, s ciljem smanjenja pogrešaka i unapređenja sigurnosti na radnom mjestu.

- Još jedan proizvođač robotike, Fanuc, koristi senzore u svojim robotima, zajedno s analitikom podataka putem oblaka, kako bi predvidio nadolazeći kvar komponenti u svojim robotima. Time voditelj tvornice može planirati održavanje u prikladno vrijeme, smanjujući troškove izbjegavajući moguće razdoblje zastoja u proizvodnji.

- Magna Steyr, austrijski proizvođač automobila, koristi IIoT za praćenje svojih sredstava, uključujući alate i dijelove vozila, te za automatsko naručivanje i dodatne zalihe kada je to potrebno. Također, tvrtka testira "pametno pakiranje" koje je opremljeno Bluetooth tehnologijom kako bi pratilo komponente u njihovim skladištima.

- Comping, IT tvrtka, surađuje s HEP telekomunikacijama kako bi razvila i implementirala platformu za obradu podataka. S druge strane, Byte Lab je odgovoran za razvoj senzora za očitanje plinskih

brojila. Kroz ovu suradnju i projekt digitalizacije HEP Plina, korisnicima se pruža mogućnost praćenja stvarne potrošnje plina, procjene troškova i analize podataka. Ova inicijativa ima potencijal značajno poboljšati kontrolu i efikasnost potrošnje plina za korisnike[20].

4.5. Prednosti industrijskog IoT-a

Industrijski Internet of Things donosi brojne prednosti i napredak u industriji. Nekoliko ključnih prednosti industrijskog IoT-a čija je umreženost prikazana slikom 4. [21]:

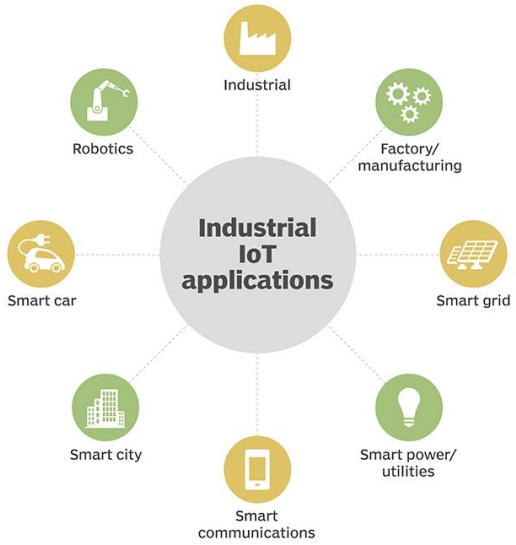
- jedna od najvažnijih prednosti je mogućnost preventivnog održavanja. Korištenjem podataka u stvarnom vremenu generiranih iz sustava industrijskog IoT-a, organizacije mogu predviđati moguća oštećenja u strojevima i drugim sustavima prije nego što se dogode. Prije nego što dođe do kvara ili pada sustava, ovo omogućuje tvrtkama da poduzmu mjere za rješavanje tih problema. Također, preventivno održavanje omogućuje tvrtkama da identificiraju potencijalne probleme u fazi razvoja proizvoda, što im omogućuje da unaprijed poduzmu korake kako bi izbjegli potencijalne greške i poboljšali kvalitetu proizvoda prije nego što se uopće počnu proizvoditi..

- poboljšana usluga na terenu. Zahvaljujući tehnologijama industrijskog IoT-a, tehničari na terenu imaju mogućnost ranog otkrivanja potencijalnih problema u opremi klijenata prije nego što oni prerastu u ozbiljnije probleme. To omogućuje tehničarima da pravovremeno reagiraju i rješavaju te probleme prije nego što kupcu nastane šteta.

- sustavi upravljanja imovinom omogućuju dobavljačima, proizvođačima i kupcima da prate lokaciju, status i stanje proizvoda duž cijelog lanca opskrbe. Ovaj sustav omogućuje praćenje proizvoda od trenutka proizvodnje sve do krajnjeg kupca. U slučaju oštećenja proizvoda ili rizika od oštećenja tijekom transporta ili skladištenja, sustav automatski šalje trenutna upozorenja. Ovo pruža sudionicima lanca opskrbe priliku za brzu reakciju ili preventivno djelovanje kako bi se odmah ispravila situacija.

- Industrijski Internet stvari poboljšava zadovoljstvo kupaca putem prikupljanja i analize podataka o korisničkom iskustvu. Na temelju ovih saznanja, proizvođači mogu prilagoditi svoje proizvode kako bi bolje odgovarali potrebama kupaca i stvarali proizvode usklađene s njihovim preferencijama.

- Industrijski Internet stvari također unaprjeđuje upravljanje objektima. S obzirom na osjetljivost proizvodne opreme i važnost održavanja optimalnih radnih uvjeta unutar tvornica, senzori su od ključne važnosti. Omogućuju nadzor nad vibracijama, temperaturom i drugim faktorima koji bi mogli utjecati na radnu efikasnost i sigurnost opreme.



Slika 4. Umreženost IIoT [19]

4.6. Rizici i izazovi IIoT-a

Najveći rizici povezani s korištenjem IIoT-a odnose se na sigurnost. Često se događa da IIoT uređaji i nakon što su pušteni u proizvodnju i dalje koriste zadane lozinke, a mnogi uređaji prenose podatke kao nešifrirani tekst, olakšavajući napadačima mogućnost presretanja tih podataka. Postoji mogućnost da napadači preuzmu kontrolu nad nesigurnim IIoT uređajem i koriste ga kao platformu za napade na druge mrežne resurse. Sigurnost je veliki izazov za odgovorne osobe u organizacijama koje koriste IIoT uređaje, pa je stoga važno usvojiti učinkovitu strategiju upravljanja uređajima. Uvođenjem sve

većeg broja IIoT uređaja, ključno je organizacijama pozitivno identificirati svaki uređaj kako bi spriječile korištenje nepoželjnih uređaja. Također, uspostavljanje načina identifikacije pojedinih uređaja važno je za zadatke poput zamjene neispravnih uređaja ili izvođenja osvježavanja uređaja. Upravljanje zakrpama je još jedan veliki izazov vezan uz IIoT uređaje. Proizvođači uređaja redovito izdaju nadogradnje firmware-a, pa je za organizacije bitno imati učinkovit način provjere uređaja kako bi vidjele jesu li instalirale najnoviju verziju firmware-a i po potrebi implementirale nove verzije. Ovaj alat trebao bi slijediti unaprijed utvrđeni raspored održavanja organizacije kako ne bi poremetio operacije[19].

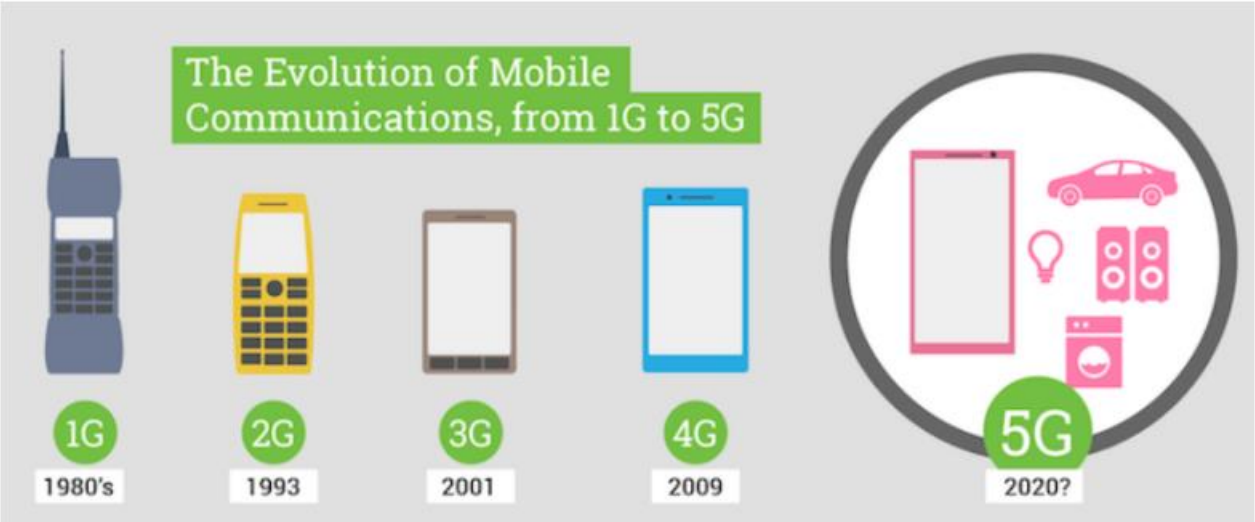
5. BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE ZA INDUSTRIJSKI IoT

Bežične komunikacijske tehnologije za industrijski Internet stvari (IoT) igraju ključnu ulogu u transformaciji industrijskih procesa i istovremeno smanjenju troškova poslovanja. Očekuje se da će ove tehnologije omogućiti brzu i pouzdanu povezanost između uređaja i senzora u industrijskim okruženjima, smanjujući potrebu za skupim žičanim infrastrukturama. Primjeri ovih tehnologija uključuju 5G mrežu, Zigbee, LoRaWAN, NB-IoT i Sigfox. No, uz očekivanja brze povezanosti, postavljeni su i zahtjevi za visokom pouzdanošću, skalabilnošću i sigurnošću kako bi se postigla maksimalna efikasnost i smanjenje troškova poslovanja.

5.1. 5G mreža

Pojam 5G označava petu po redu generaciju mobilnih telekomunikacijskih mreža s pripadajućom infrastrukturom i uređajima čije je evolucija prikazana slikom 5. Njegove značajne karakteristike su znatan pomak kada su brzina prijenosa podataka i mogućnost povezivanja većeg broja uređaja u pitanju. Daljnjim razvojem, očekuje se povećanje brzina i proširenje ponude podržanih uređaja na razrede cjenovno nižeg ranga, te na širi raspon uređaja, uključujući Internet of Things (IoT) uređaje. Planirano je da godina 2020. označi smjenu generacija u skladu s dosadašnjim intervalima od desetak godina. U Hrvatskoj, prva generacija telekomunikacijskih mreža koristila je NMT (Nordic Mobile Telephone) standard, uzimajući u obzir da je takva tehnologija već onda bila zastarjela jer je u nordijskim zemljama uvedena 1981. godine. Nakon toga, druga generacija (poznata kao GSM ili 2G) počela je s radom 1999. godine. Treća generacija (3G) započela je 2001. godine sa svojim radom, ali zbog licitacijskog načina kupovanja licenci i koncesija , brojni operateri susreli su se sa poteškoćama te je komercijalni rad odgođen za 2003. i 2004. godinu. Četvrta generacija (4G) ugledala je svijetlo dana 2011. odnosno 2012. godine, a sada je vidljivo kako je desetogodišnji ciklus smjene generacije skraćen. U 2019. godini počeo je rad prvih 5G mreža, dok su hrvatski operateri već tijekom 2018. godine provodili testiranja i puštali u rad prve testne bazne stanice, nagovještavajući novu eru bržeg i naprednijeg mobilnog povezivanja. Hrvatske mobilne mreže su među najboljima na svijetu po brzini i dostupnosti korisnicima, suprotno situaciji u fiksnim mrežama koje su među najsporijima u EU. 5G mreže se brzo implementiraju jer se oslanjaju na postojeću 4G mrežu. Frekvencijski spektar za 5G podijeljen je na dvije skupine: ispod 6 GHz i iznad te granice. Prva skupina uključuje 700 MHz za

ruralna i otvorena područja te 3,5 GHz za gradske s gustoćom korisnika, dok su frekvencije iznad 6 GHz poput 26 GHz rezervirane za visoke brzine, s kraćim dometom i planiraju se na područjima s velikim brojem korisnika i potrebom za brzim vezama[22].



Slika 5. Evolucija mobilnih komunikacija[22]

5.1.1. Prednosti i nedostatci 5G mreže

5G mreža donosi brojne prednosti, uključujući izuzetno visoke brzine interneta, štednju energije i produženje vijeka baterije uređaja. Također, 5G pruža manju zagušenost i veću dostupnost propusnosti, što osigurava stabilniju i pouzdaniju uslugu te mogućnost povezivanja s velikim brojem uređaja na malom prostoru. Osim toga, 5G omogućuje pametnu automatizaciju i Internet stvari (IoT) te će se koristiti za razne svakodnevne potrebe, uključujući praćenje inventara i medicinske operacije na daljinu. Unatoč prednostima, postoje i nedostaci 5G mreže. Instalacija i primjena su složeniji procesi, zahtijevajući više odašiljača za istu pokrivenost kao 4G mreža. Sigurnost 5G mreže zahtijeva poboljšanja kako bi se spriječilo hakiranje, a potrebno je i raditi na sigurnosnim standardima i enkripciji za IoT uređaje. Osim toga, mobilni uređaji koji koriste 5G mrežu brže troše bateriju i mogu se zagrijavati tijekom rada. Trenutačno, pokrivenost 5G mrežom ograničena je na veće gradove, dok će široka rasprostranjenost zahtijevati više vremena za implementaciju[23].

5.1.2. Primjena 5G mreže

5G tehnologija donosi revolucionarne mogućnosti, uključujući automatsko "zacjeljivanje" oštećenih električnih sustava, što omogućuje brzu obnovu nakon incidenta. Pametni automobili povezani s 5G mrežom mogu poboljšati prometni protok i smanjiti nesreće. U tvornicama budućnosti, 5G omogućuje fleksibilniju proizvodnju i efikasno preuređivanje proizvodnih linija. Također, 5G olakšava liječenje na daljinu, omogućujući liječnicima da pružaju podršku i obavljaju operacije putem visokokvalitetnih video veza. Ove inovacije imaju potencijal transformirati različite sektore, poboljšavajući učinkovitost i sigurnost u mnogim područjima[24].

5.2. ZigBee

ZigBee je najpopularniji standard za bežične mreže u industriji, koji omogućuje povezivanje senzora, mjernih instrumenata i sustava za upravljanje. ZigBee, specifikacija za komunikaciju u bežičnoj osobnoj mreži (WPAN), naziva se *"Internet stvari"*. Teoretski, kava pripremljena pomoću ZigBee tehnologije može komunicirati s tosterom također opremljenim ZigBee-om. ZigBee je otvoren, globalni, paketno orijentiran protokol dizajniran kako bi pružio jednostavnu arhitekturu za sigurne, pouzdane, bežične mreže s niskom potrošnjom energije. ZigBee i IEEE 802.15.4 su standardi za bežične mreže s malom brzinom prijenosa podataka koji mogu eliminirati skupu i osjetljivu na oštećenja žičanu infrastrukturu u industrijskim kontrolnim aplikacijama. Oprema za upravljanje procesima može biti postavljena bilo gdje i ipak komunicirati s ostatkom sustava. Također ju je moguće premještati, jer mreža ne brine o fizičkoj lokaciji senzora, pumpe ili ventila[25]. ZigBee RF4CE standard poboljšava IEEE 802.15.4 standard pružajući jednostavan sloj mrežnog protokola i standardne aplikacijske profile. To omogućuje stvaranje interoperabilnih rješenja za potrošačku elektroničku opremu od više proizvođača. Domet Zigbee mreže ovisi o faktorima poput frekvencije, snage odašiljanja, preprekama i interferenciji. Na frekvenciji 2,4 GHz, uobičajeni domet je 10-100 metara, a brzina prijenosa podataka 250 kbps.

ZigBee je na pragu postati globalni standard za mreže kontrolnih uređaja i senzora. Namijenjen je pružanju sljedećih značajki[25]:

- niska potrošnja energije, jednostavna implementacija

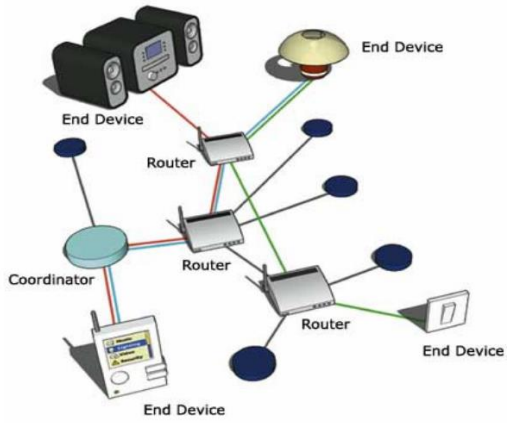
- korisnici očekuju da će baterije trebati mnogo mjeseci ili godina
- Bluetooth ima mnogo različitih načina i stanja ovisno o latenciji energetskim zahtjevima, kao što su sniff, park, hold, active itd. ; ZigBee/IEEE 802.15.4 ima aktivni (emitiranje/prijem) ili stanje mirovanja (sleep)
- napajana uprava treba biti svjesna potrošnje energije. ZigBee uređaji bit će ekološki prihvatljiviji od svojih prethodnika i omogućit će uštedu megavata kad se potpuno implementiraju.

5.2.1. Primjena ZigBee

Primjene ZigBee uključuju[25]:

- automatizaciju domova i ureda,
- industrijsku automatizaciju,
- medicinsko nadziranje,
- senzore s niskom potrošnjom energije,
- upravljanje HVAC sustavima (grijanje, ventilacija i klimatizacija)
- i mnoge druge kontrole i nadzorne svrhe

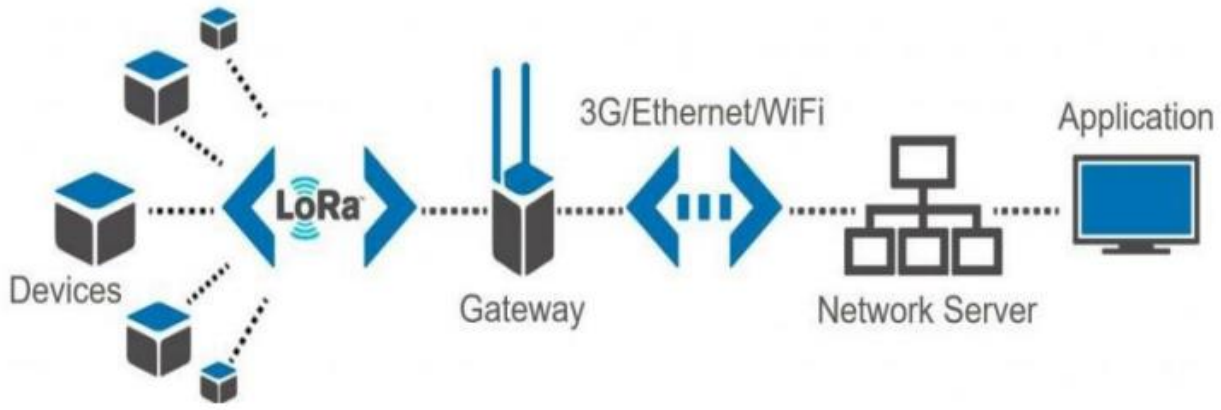
ZigBee teži primjeni uređaja s niskom potrošnjom energije, niskim ciklusom rada i minimalnim zahtjevima za prijenos podataka. Slika 6. ispod prikazuje primjer ZigBee mreže.



Slika 6. ZigBee mreža [25]

5.3. LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) je mrežni protokol koji omogućuje bežično povezivanje senzorskih čvorova na velikim udaljenostima uz malu potrošnju energije. Ovaj protokol spada u kategoriju LPWAN mreža (Low Power Wide Area Network). Ključna komponenta LoRaWAN-a je LoRaWAN gateway, uređaj koji služi za prevođenje RF signala u IP protokol i obrnuto. LoRaWAN gateway ima dvosmjernu (duplex) komunikaciju, što znači da senzorski čvorovi mogu primati i slati podatke, ali ne istovremeno. Gateway je spojen s jedne strane na senzorski čvor, s kojim komunicira putem LoRaWAN tehnologije, dok je s druge strane povezan na internet putem TCP/IP protokola. Senzorski čvorovi uključuju senzore, mikrokontrolere i LoRaWAN primopredajnike. Mreža je organizirana u zvjezdastoj topologiji, gdje se gateway nalazi u središtu (slika 7.). Više gateway-a može biti povezano na internet, a dalje prenose prikupljene podatke u mrežni server. Mrežni server zatim prosljeđuje te podatke u aplikaciju koja služi za vizualizaciju i daljnju obradu[26].



Slika 7. Topologija LoRaWAN mreže [26]

LoRaWAN je bežični mrežni protokol koji koristi ISM (Industrial, Scientific, Medical) frekvencijsko područje, a za europsko područje to iznosi 868 MHz i 433 MHz. Protokol omogućuje slanje malih količina informacija na velike udaljenosti, a koristi najmanje 3 kanala širine 125 kHz. Tipično, senzori šalju svoje podatke u određenim vremenskim intervalima, što omogućuje uštedu

energije jer se nakon slanja podataka senzorski čvorovi prebacuju u "sleep mode". Jedan od primjera korištenja LoRaWAN-a je praćenje temperature. Za tu namjenu, dovoljno je izmjerene temperature slati svakih desetak minuta. Ovakav pristup omogućuje učinkovitu i ekonomičnu uporabu energije potrebne za napajanje senzorskih čvorova. LoRaWAN protokol je zamišljen kao "open source", što znači da nije potrebno plaćati licence za korištenje. Također, cijena potrebnog hardvera za implementaciju ovog protokola je relativno niska u odnosu na njegove mogućnosti. Brzine prijenosa podataka u LoRaWAN mreži kreću se obično od 0.3 kbit/s do 50 kbit/s, što je u skladu s potrebom za prenosom malih količina podataka s niskom potrošnjom energije. Domet LoRaWAN uređaja može doseći do 5 km u urbanim područjima, dok u ruralnim područjima doseže i do 30 km, ovisno o položaju samih uređaja. Još jedna prednost LoRaWAN-a je visoka osjetljivost prijemnika, što omogućuje pouzdan prijem signala. Također, moguća je i geolokacija uređaja. Što se tiče sigurnosti, svi podaci na mreži su enkriptirani korištenjem AES 128-bitne enkripcije s kraja na kraj (end-to-end). Međutim, LoRaWAN ima i nekoliko nedostataka. Na primjer, nemogućnost prijenosa podataka u stvarnom vremenu te nemogućnost slanja multimedije, slika i sličnog. No, unatoč tim ograničenjima, LoRaWAN ostaje popularan izbor za razne IoT primjene zbog svoje učinkovitosti, pouzdanosti i niske potrošnje energije[26].

5.3.1. Prednosti i nedostatci LoRaWAN

Prednosti LoRaWAN-a uključuju sposobnost senzora male potrošnje koji pokrivaju široka geografska područja, često u miljama, čime omogućuje dug vijek trajanja baterija (do 5 godina). Ova tehnologija je idealna za praćenje terenske imovine te se široko primjenjuje u različitim IoT aplikacijama, uključujući pametne gradove. LoRaWAN omogućuje sigurnu dvosmjernu komunikaciju i jednostavna je za implementaciju. Međutim, LoRaWAN ima i svoje nedostatke, uključujući ograničenje u brzini prijenosa podataka, što ga čini neprikladnim za aplikacije s velikim količinama podataka ili za audio i video sadržaj. Također, komunikacija je ograničena na liniju vidljivosti (LOS), a nije idealan za aplikacije u stvarnom vremenu koje zahtijevaju niske latencije i visoku pouzdanost[27].

5.4. Sigfox

Sigfox je francuska kompanija koja je osnovana 2009. godine i specijalizirana je za izgradnju bežičnih IoT mreža za povezivanje uređaja sa niskom potrošnjom energije. Ime "Sigfox" se često koristi kao opći termin za označavanje njihove tehnologije, protokola i mreže. Važno je napomenuti da, za razliku od LoRaWAN protokola, Sigfox tehnologija nije otvorenog koda. Sigfox mrežu i njeno pokrivanje baznim stanicama upravljaju Sigfox operateri. Ova mreža trenutno pokriva 60 država i regija, a u Hrvatskoj je IoT Net Adria počela implementaciju Sigfox mreže 2018. godine. Iako Sigfox mreža nije potpuno besplatna, trošak njenog korištenja za potrebe IoT-a je relativno nizak u usporedbi sa popularnim mrežnim tehnologijama kao što su Wi-Fi ili GSM[28].

Svaka Sigfox bazna stanica može upravljati do tri milijuna uređaja. Upravljanje ovim uređajima je vrlo jednostavno i broj povezanih uređaja može se povećati dodavanjem više baznih stanica. Sigfox sustav ima vrlo dobar rad unutar i izvan zatvorenih prostora, a stopa neuspjeha mreže iznosi samo 12%. Sigfox ćelija može pokriti udaljenost od otprilike 30 - 50 km u ruralnim područjima i 3 - 10 km u urbanim područjima. U slučaju slobodnog prostora i izravne vidljivosti (LOS) veza, signal može putovati više od 1000 km. Sigfox je dizajniran za nisku potrošnju energije i komunikaciju uređaja koji šalju male količine podataka. Standardna brzina prijenosa podataka u Sigfox mreži je 100 bps. Sigfox uređaji šalju najviše 140 poruka dnevno, dok ostatak vremena uređaji ostaju u načinu mirovanja. To pomaže u radu uređaja s niskom potrošnjom energije i pruža dodatnu sigurnost za sustav. Krajnji uređaj može stvarati komunikaciju samo s baznom stanicom i svaku poruku šalje tri puta na tri različite frekvencije. Sigfox mrežni protokol koristi i vremensku i frekvencijsku raznolikost. Sigfox bazna stanica prenosi signal koristeći slučajnu frekvenciju pristupa višestrukom vremenu[29].

5.4.1. Prednosti i nedostatci Sigfox-a

Sigfox mreža ima odličnu pokrivenost u urbanim područjima, uključujući i Zagreb. Za oko 350 kuna po uređaju, možete koristiti uplink i downlink funkcionalnosti čak i u područjima bez interneta ili struje. Cijena pretplate nije jasno definirana i trebate kontaktirati lokalnog Sigfox operatera poput IoT Net Adria za Hrvatsku za točnu cijenu. Međutim, postoje ograničenja. Postavljanje Sigfox bazne stanice je gotovo nemoguće bez statusa Sigfox operatera. Također, potrebna je Sigfox pokrivenost na mjestu gdje želite koristiti uslugu, te plaćanje pretplate. Srećom, Sigfox pokrivenost u Zagrebu je

izvrsna, a budući da je ovo nova tehnologija u ovim krajevima, imate pristup baznim stanicama što povećava pouzdanost pri slanju poruka, uz mogućnost slanja do 14 downlink poruka dnevno[30].

5.4.2. Primjena Sigfox-a

Sigfoxova IoT rješenja omogućavaju pristupačnu i trenutačnu povezanost za efikasnije gradsko upravljanje. Ova ekonomična rješenja obuhvaćaju unaprijeđenu uslugu dijeljenja bicikala s geolokacijom, praćenje kvalitete zraka, pametne kontejnere za smeće, bicikle za dijeljenje, lociranje parkirnih mjesta, optimizirane rute prikupljanja otpada, održavanje defibrilatora, daljinsko praćenje gradske infrastrukture te unaprjeđenje sigurnosti hrane i vode. Sve ovo pomaže gradovima bolje upravljati resursima i infrastrukturom[31].

5.5. NB – IoT

NarrowBand-Internet stvari (NB-IoT) predstavlja tehnologiju koja se temelji na standardima i razvijena je kako bi omogućila raznovrsne nove uređaje i usluge za Internet stvari (IoT). Ključna prednost NB-IoT-a leži u znatnoj optimizaciji potrošnje energije korisničkih uređaja, povećanju kapaciteta sustava i efikasnosti iskorištavanja frekvencijskog spektra, posebno u područjima s dubokim pokrivanjem. Ova tehnologija omogućuje trajanje baterije od više od 10 godina, što je iznimno korisno za različite primjene. Domet NB-IoT ovisi o korištenoj frekvenciji, ali uobičajeno pokriva 10 – 100 km udaljenosti. Standardna brzina prijenosa podataka za NB-IoT uređaje varira, ali obično je oko 50 kbps, što ju čini tehnologijom prikladnom za aplikacije koje zahtijevaju slanje malih količina podataka. Novi fizički slojevi signala i kanala posebno su dizajnirani kako bi zadovoljili zahtjeve proširenog pokrivanja, uključujući ruralna područja i unutarnje prostore gdje je dosadašnji signal bio ograničen. Početni troškovi NB-IoT modula očekuju se da će biti slični onima za GSM/GPRS. Međutim, važno je napomenuti da je osnovna tehnologija NB-IoT-a znatno jednostavnija od trenutačne GSM/GPRS tehnologije, a očekuje se da će njegovi troškovi brzo padati kako potražnja raste. NB-IoT kao takav uživa podršku vodećih proizvođača mobilne opreme, čipova i modula te može funkcionirati s već postojećim 2G, 3G i 4G mobilnim mrežama. Osim toga, služi se svim sigurnosnim i privatnim značajkama mobilnih mreža, uključujući podršku za provjeru identiteta korisnika, autentifikaciju entiteta, zaštitu privatnosti, valjanost podataka i identifikaciju mobilne opreme[32].

5.5.1. Prednosti i nedostatci NB-IoT

NB-IoT tehnologija nudi brojne prednosti u kontekstu IoT-a, uključujući izuzetnu energetsku učinkovitost koja omogućuje baterijski vijek trajanja uređaja od 10+ godina, visoku razinu sigurnosti zahvaljujući standardnim mrežnim sigurnosnim mjerama i upotrebu licenciranog spektra. Također, NB-IoT se može koristiti širom svijeta i suživjeti s postojećim mobilnim mrežama, uz sposobnost povezivanja senzora izravno na bazne stanice i proširenje pokrivenosti u područjima s lošim signalom. Međutim, važno je imati na umu i neke mane, poput ograničenja u brzini prijenosa podataka, što može ograničiti podržane aplikacije, te ograničenja u mobilnosti uređaja, posebno za brze i visoko pokretne uređaje, uz izazove vezane uz roaming i prijenos. Odabir između NB-IoT i drugih tehnologija treba se temeljiti na specifičnim zahtjevima projekta kako bi se iskoristile prednosti i umanjile mane ove tehnologije[33].

5.5.2. Primjena NB-IoT

NB-IoT tehnologija je idealna za poslovne i privatne primjene, kao što su aplikacije kao pametno parkiranje, upravljanje otpadom, praćenje kvalitete zraka, praćenje stvari i pošiljaka, pametna brojila, pametni domovi, sustavi za praćenje zdravstvenog stanja i mnoge druge.

Primjer primjene je Hrvatski Telekom koji koristi NB-IoT tehnologiju za povezivanje IoT uređaja putem interneta. Ova mreža, temeljena na 3GPP standardu, nudi izvanredno prodiranje signala u zatvorene prostore, nisku potrošnju energije (do 10 godina trajanja baterija), visoku sigurnost, te optimiziranu brzinu prijenosa podataka. To je svjetski standard koji omogućava jednostavnu implementaciju, bez potrebe za lokalnim mrežama ili pristupnicima[34].

6. USPOREDBA BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Bežične tehnologije omogućuju raznolike primjene od pametnih kućanstava do industrijske automatizacije. S obzirom na mnoge dostupne bežične protokole, ključno je razumjeti njihove karakteristike kako biste odabrali pravu tehnologiju za svoje potrebe. U nastavku je prikazan detaljan pregled nekoliko vodećih bežičnih komunikacijskih tehnologija, uključujući Sigfox, NB-IoT (Narrowband IoT), LoRaWAN i Zigbee. Ova usporedba obuhvaća ključne aspekte svake tehnologije, uključujući domet, brzinu prijenosa podataka, potrošnju energije, troškove uvođenja, sigurnost, pokrivenost te njihovu primjenu.

KRITERIJ	Sigfox	NB-IoT	LoRaWAN	Zigbee	5G
TIP	LPWAN	Ćelijski IoT	LPWAN	WPAN	Ćelijska mreža
SPEKTAR	ISM frekvencijski pojas	Licencirani ćelijski pojasevi	ISM frekvencijski pojas	2,4 GHz, 91 MHz	Različiti spektri ovisno o regiji
DOMET	10-50 km	10-100 km	2-30 km	10-100 km	1-10 km
BRZINA PRIJENOSA PODATAKA	100 bps - 1kbps	50 kbps	0.3-50 kbps	250 kbps	Deseci Mbps do nekoliko Gbps
POTROŠNJA ENERGIJE	Vrlo niska	Niska	Niska	Niska	Varira ovisno o scenariju
TROŠKOVI UVOĐENJA	Niski	Srednji	Niski	Niski-srednji	Visoki
POKRIVENOST	Globalna	Ovisi o operateru	Regionalna	Lokalna - srednja	Globalna
PRIMJERI PRIMJENE	Gradsko upravljanje	Poslovna i privatna	Pračenje uređaja, temperature i sl.	Pametna kučanstva, industrijska automatizacija, nadzorne i kontrolne svrhe	Iot, mobilne usluge, autonomna vožnja

Slika 8.. Usporedba bežičnih komunikacijskih tehnologija, izrada autora

Slikom 8. prikazana je tablica usporedbe bežičnih komunikacijskih tehnologija koja pruža pregled ključnih karakteristika Sigfoxa, NB-IoT-a, LoRaWAN-a, Zigbee-a i 5G-a. Sigfox se izdvaja po impresivnom dometu u otvorenom prostoru i iznimno niskoj potrošnji energije, čineći ga izvrsnim izborom za IoT uređaje s ograničenim napajanjem. Međutim, brzina prijenosa podataka je ograničena na niže vrijednosti. NB-IoT kombinira prednosti ćelijske mreže s niskom potrošnjom energije, nudeći solidan domet i umjerene brzine prijenosa podataka. To ga čini prikladnim za širok spektar aplikacija, posebno u okruženjima gdje operateri podržavaju ovu tehnologiju. LoRaWAN ima prilagodljiv domet

i brzinu prijenosa podataka, ovisno o postavkama i opremi. To ga čini idealnim za primjene poput praćenja sredstava i pametnih gradova, gdje je regionalna pokrivenost ključna. Zigbee je posebno dizajniran za kratke udaljenosti i lokalnu komunikaciju. Često se koristi u pametnim kućanstvima i scenarijima gdje je potrebna lokalna mreža visoke pouzdanosti. 5G se ističe visokim brzinama prijenosa podataka, što ga čini izvanrednim izborom za mobilne aplikacije, autonomnu vožnju i druge visoko propusne primjene, iako uz potrošnju energije koja može biti viša u usporedbi s drugim tehnologijama.. Odabir tehnologije ovisi o specifičnim potrebama projekta, a ovaj pregled može pomoći u informiranju odabira.

7. DIGITALIZACIJA OČITANJA PLINOMJERA

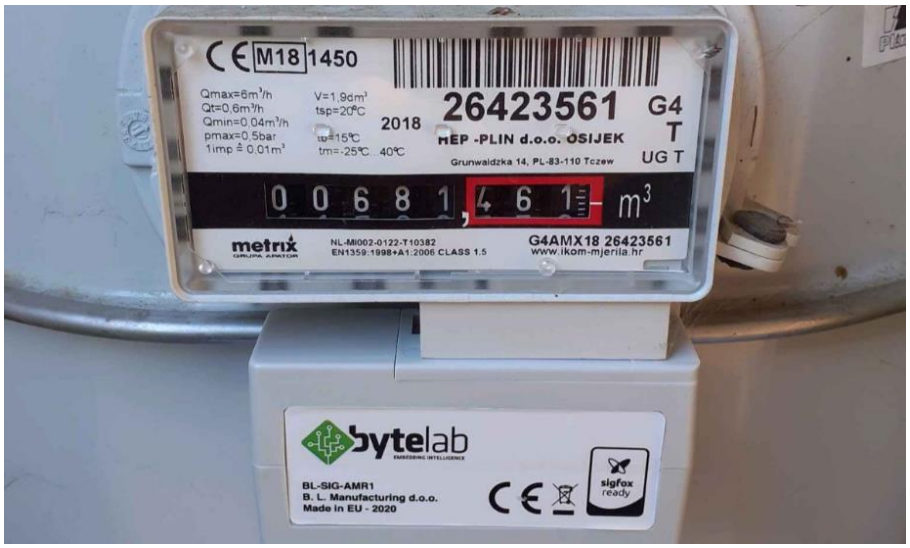
Primjer digitalizacije očitanja plinomjera vidljiv je u istočnom dijelu Republike Hrvatske, više od 4000 krajnjih potrošača sudjelovalo je u projektu koji je uključivao modifikaciju postojećih membranskih plinskih brojila kako bi se pretvorila u pametna. Ova modifikacija je postignuta ugradnjom posebnih modula za daljinsko očitanje potrošnje na postojeća plinska brojila. Ti moduli djeluju kao daljinski čitači magnetskih impulsa koji omogućuju očitanje potrošnje prirodnog plina na brojilima i slanje tih podataka putem Sigfox mreže. Za ovaj proces koriste se odgovarajući adapteri kako bi se moduli mogli instalirati na većinu postojećih plinskih brojila. Ugradnja ovih modula je iznimno brza, traje samo nekoliko minuta i ne zahtijeva značajne intervencije na samim plinomjerima. Moduli se jednostavno postavljaju na predviđeno mjesto i aktiviraju pomoću magneta[35].

Prednosti pametnih plinomjera[35]:

- ušteda na očitanju brojila i operativne uštede,
- smanjenje računa zbog energetske učinkovitosti,
- netehnički (administrativni, uključujući prevare) gubici,
- bolje upravljanje i održavanje imovinom,
- veća konkurencija na maloprodajnom tržištu,
- upravljanje prekidima rada

U gradu Osijeku pokrenuta je realizacija projekta promjene klasičnih plinomjera u pametne koji okuplja nekolicinu hrvatskih IT tvrtki i HEP Plin. Glavni cilj ovog projekta je implementacija pametnih uređaja koji će omogućiti daljinsko očitanje plinomjera s ciljem smanjenja troškova terenskog očitanja, unapređenja analitike i poboljšanja korisničkog iskustva. Projekt se temelji na tehnologiji Internet stvari, ključnoj tehnologiji za digitalnu transformaciju. U okviru projekta korištena su domaća hardverska i softverska rješenja razvijena od strane renomiranih tvrtki kao što su Comping u dogovoru s HEP Telekomunikacijama, koje su razvile i implementirale platformu za obradu podataka. Tvrtka Byte Lab razvila je senzor za očitavanje plinskih brojila (slika 9.), a tvrtke Multicom i Axis pružile su integracijsko znanje da bi se osigurao učinkovit sustav za krajnje korisnike[20].

Projekt digitalizacije plinskih brojila donosi značajne prednosti, uključujući smanjenje troškova ručnog očitanja, mogućnost prikupljanja i obrade podataka na daljinu u stvarnom vremenu. HEP Plin je putem ovog projekta dobio brži i lakši pristup ključnim informacijama za donošenje poslovnih odluka. Korisnicima ove digitalne usluge omogućen je uvid u stvarnu potrošnju plina, procjene troškova potrošnje te analizu povijesnih i trenutnih podataka. Ova integracija s internetom stvari ostvarena je kroz suradnju s hrvatskim operatorom Sigfoxom, IoT Net Adria, a HEP Telekomunikacije omogućile su obradu podataka na svojoj platformi. Senzor razvijen od strane tvrtke Byte Lab lako se instalira na postojeća plinska brojila i šalje očitanja nekoliko puta dnevno. Ključna vrijednost ovog projekta leži u njegovoj skalabilnosti i brzoj primjeni, što će bitno transformirati plinsku industriju i povećati vrijednost u svim segmentima, od distributera do krajnjih korisnika. Digitalizacija ovog sustava donosi koristi svima uključenima u proces, čineći ga efikasnijim i naprednijim u današnjem digitalnom dobu[20].



Slika 9. IoT uređaj spaja se na postojeći plinomjer[36]

8. ZAKLJUČAK

Tijekom pisanja završnog rada autor je detaljno istražio bežične komunikacijske tehnologije za povezivanje industrijskih IoT (Internet of Things) uređaja. Industrijski sektor sve više prepoznaje potencijal IoT-a za poboljšanje efikasnosti, smanjenje troškova i optimizaciju poslovnih procesa. Bežične komunikacijske tehnologije igraju ključnu ulogu u ostvarivanju ovog potencijala, omogućavajući brzo i pouzdano povezivanje uređaja u industrijskom okruženju.

Navedene tehnologije, uključujući Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT, Zigbee i 5G, predstavljaju različite bežične pristupe za Internet stvari (IoT), svaka s vlastitim karakteristikama i prednostima. Sigfox i LoRaWAN često su odabrani za aplikacije koje zahtijevaju dugi domet i nisku potrošnju energije, dok NB-IoT koristi postojeće mobilne mreže i nudi dobru pokrivenost. Zigbee se ističe u lokalnim mrežama unutar zgrada i pametnim domovima, dok 5G tehnologija donosi iznimno brze brzine prijenosa podataka i nisku latenciju, ali zahtijeva infrastrukturna ulaganja. Odabir tehnologije ovisi o specifičnim potrebama IoT aplikacije, uključujući domet, brzinu prijenosa podataka, i energetsku efikasnost. Pravilna usklađenost tehnologije s ciljevima projekta ključna je za postizanje optimalnih rezultata.

Prednosti pametnog mjerenja plina autor rada proučio je u 7. poglavlju ovoga rada, one su nebrojene i ostvaruju ih svi stanovnici na plinskom tržištu. Mogućnost provjere osobne potrošnje potrošačima budi svijest o vlastitim troškovima te imaju mogućnost njome upravljati, distributeri na taj način mogu vršiti kvalitetnije naplate, ali i mogućnost očitanja u realnom vremenu. Temeljem navedenog, analitičari pretpostavljaju kako će uvođenjem pametnih plinskih brojila biti vidljivi pozitivni rezultati u obliku energetskih i financijskih ušteda u bliskoj budućnosti. Slično se može očekivati od svih komunalnih opskrbljivača sa stajališta mjerenja.

9. LITERATURA

[1] What is IoT. URL: https://www.oracle.com/in/internet-of-things/what-is-iot/ (srpanj 2023)

[2] Kuan, F. (2022). Vodić za implementaciju IoT-a. URL: https://www.mokosmart.com/hr/iot-implementation-guide/ (srpanj 2023)

[3] Sensor. URL: https://www.techtarget.com/whatis/definition/sensor (srpanj 2023)

[4] IoT rješenja. URL: https://www.microlink.hr/iot-rjesenja.aspx (srpanj 2023)

[5] What is the Cloud. URL: https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/ (srpanj 2023)

[6] Data, IoT and Cloud. URL: https://www.dqchannels.com/data-iot-cloud-secret-success-age-industry/ (srpanj 2023)

[7] Machine learning. URL: https://www.ibm.com/topics/machine-learning (srpanj 2023)

[8] Strojno učenje. URL: https://serengetitech.com/hr/expertise/technology-trends/strojno-ucenje/ (srpanj 2023)

[9] Umjetna inteligencija. URL: https://shorturl.at/arMNU (srpanj 2023)

[10] Advantages and Disadvantages of IoT. URL: https://www.javatpoint.com/iot-advantage-and-disadvantage (srpanj 2023)

[11] Industrial IoT. URL: https://www.tibco.com/reference-center/what-is-iiot (srpanj 2023)

[12] Pametna proizvodnja. URL: https://www.c-a-d.com.hr/post/pametna-proizvodnja-buducnost-stvaranja-je-digitalna (srpanj 2023)

[13] Smart Grid. URL: https://www.selmet.hr/hr/energetika-smart-grid-industial-internet-things-iiot (srpanj 2023)

[14] The Smart Grid and Renewable Energy. URL: https://innovationatwork.ieee.org/smart-grid-transforming-renewable-energy/ (srpanj 2023)

[15] Škrlec, D. (2017), Pametni gradovi –budućnost ili stvarnost? URL: https://www.davor-skrlec.eu/pametni-gradovi-buducnost-ili-stvarnost/

[16] Nam, Taewoo; A Pardo, Theresa. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. 12th Annual International Digital Government Research, https://www.ctg.albany.edu/media/pubs/pdfs/dgo_2011_smartcity.pdf , str. 282

[17] Jurlina Alibegović, Dubravka; Kordej-De Villa, Željka; Šagovac, Mislav. Smart city indicators: Can they improve governance in Croatian large cities? Ekonomski Institut Zagreb (EIZ). https://hrcak.srce.hr/file/302966 , str. 7

[18] Vrhovec, Ivona; Slišković, Ivona. Realizacija projekata baziranih na konceptu "pametnih" gradova u Hrvatskoj s osvrtom na grad Jastrebarsko. Notitia, https://hrcak.srce.hr/file/359862 , str. 63

[19] Rizici i izazovi IIoT. URL: https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT?fbclid=IwAR0yPVy5kirEmlAeBuqZ2FONYWbPoblUFivWT6fPae05oSJA3kU3As9nAb0 (srpanj 2023)

[20] Digitalizacija plinskih brojila. URL: https://profitiraj.hr/zapocet-najveci-hrvatski-iot-projekt-digitalizacije-plinskih-brojila/ (kolovoz 2023)

[21] Udovičić, E. ˙(2019). Digitalizacija poslovanja uz primjenu koncepata Industrije 4.0 (Doctoral dissertation, Istrian University of applied sciences)

[22] 5G mreža. URL: https://mob.hr/sto-je-5g-mreza-i-nosi-li-sa-sobom-rizike-po-zdravlje-covjeka/ (kolovoz 2023)
[23] Prednosti i nedostatci 5G mreže. URL: https://kompare.hr/savjetnik/5g-mreza/ (kolovoz 2023)
[24] Primjena 5G tehnologije. URL: https://tockanai.hr/tehnologija/huawei-26134/ (kolovoz 2023)
[25] Introduction to Zigbee Tehnology URL: http://skr.rs/ziZD (kolovoz 2023)
[26] Burazin, P. (2022). PRORAČUN POTROŠNJE ZA SOLARNO NAPAJANI LoRaWAN GATEWAY (Doctoral dissertation, University of Split. University Department of Professional Studies. Department of Electrical Engineering). URL: https://zir.nsk.hr/islandora/object/ossst%3A1619/datastream/PDF/view
[27] Cvitković, M. (2022). Usporedba LoRaWAN, Sigfox i NB-loT bežičnih senzorskih mreža (Doctoral dissertation, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek. Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek. Department of Communications. Chair of Radiocommunications and Telecommunications).
[28] Mekki, Kais & Bajic, Eddy & Chaxel, Frédéric & Meyer, Fernand; Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NBIoT. (2018). URL: https://www.researchgate.net/publication/323907156_Overview_of_Cellular_LPWAL_Technologies_for_IoT_Deployment_Sigfox_LoRaWAN_and_NB-IoT (kolovoz 2023)
[29] Hemjal, M. A. (2019). Sigfox Based Internet of Things: Technology, Measurements and Development (Master's thesis). URL: https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27666/Hemjal.pdf?sequence=4&isAllowed=y (kolovoz 2023)
[30] Olujić, S. (2019). Usporedba Sigfox i LoRaWAN tehnologija i primjena u vrtlarstvu (Doctoral dissertation, Algebra University College). URL: https://repozitorij.algebra.hr/islandora/object/algebra%3A445/datastream/PDF/view (kolovoz 2023)
[31] Sigfoxova rješenja primjenjiva su na mnogim područjima. URL: https://www.iotnet.hr/EasyEdit/UserFiles/brochures/iotnet-usecase-pametnigradovi.pdf (kolovoz 2023)
[32] GSMA. Narrowband – Internet of Things (NB-IoT). URL:https://www.gsma.com/iot/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/ (kolovoz 2023)
[33] Syvlest. J. (2023). Understanding Narrowband IoT (NB-IoT): Benefits, Applications, and Limitations. URL: http://skr.rs/ziZQ (kolovoz 2023)
[34] PAMETNI SUSTAVI ZA BOLJU UČINKOVITOST I UŠTEDE. URL: https://www.hrvatskitelekom.hr/poslovni/ict/m2m-internet-of-things (kolovoz 2023)
[35] Smajla, I., Sedlar, D. K., Krznarić, A., & Barišić, I. Ugradnja modula za daljinsko očitanje potrošnje prirodnog plina i prednosti pametnih plinskih brojila. ZBORNIK RADOVA 36. MEĐUNARODNOG ZNANSTVENO-STRUČNOGA SKUPA STRUČNJAKA ZA PLIN, str. 71 Dostupno: https://rb.gy/pkpx8
[36] Šimić, I. (2020). Tvoj plinomjer je upravo postao gadget, zahvaljujući ByteLabu i partnerima. URL: https://www.netokracija.com/hep-plin-startupi-iot-169206 (kolovoz 2023)

10. SAŽETAK

Naslov: Bežične komunikacijske tehnologije za povezivanje industrijskih IoT

Završni rad istražuje ključne aspekte primjene bežičnih tehnologija u kontekstu Industrije interneta stvari (IoT). Industrijski IoT predstavlja rastući segment tehnološkog sektora u kojem se mreže povezuju s fizičkim uređajima kako bi se omogućilo skupljanje, analiza i razmjena podataka u industrijskim postrojenjima. Bežične tehnologije igraju ključnu ulogu u razvoju pametnih industrijskih sustava zbog svoje mobilnosti, fleksibilnosti i ekonomske isplativosti.

Rad započinje pregledom IoT-a te industrijskog IoT-a i ključnih izazova povezanih s povezivanjem raznolikih uređaja, uključujući sigurnost, pouzdanost i smanjenje kašnjenja u prijenosu podataka. Zatim se analiziraju različite bežične komunikacijske tehnologije, uključujući 5G, Zigbee i LoRaWAN , s naglaskom na njihove prednosti, nedostatke i primjene u industrijskom okruženju. Rad ima za cilj pružiti dublje razumijevanje bežičnih tehnologija u industrijskom kontekstu i pružiti smjernice za njihovu primjenu u razvoju pametnih industrijskih sustava.

Ključne riječi: IoT (Internet stvari), Industrijski IoT, bežične komunikacije, tehnologije, senzori, protokoli za IoT.

11. ABSTRACT

Naslov: Wireless communication technologies for connecting industrial IoT

The final paper explores key aspects of implementing wireless technologies in the context of the Industrial Internet of Things (IoT). Industrial IoT represents a growing segment in the technological sector, where networks connect to physical devices to enable data collection, analysis, and exchange in industrial facilities. Wireless technologies play a crucial role in developing smart industrial systems due to their mobility, flexibility, and cost-effectiveness.

The paper begins with an overview of IoT and industrial IoT, along with the key challenges related to connecting diverse devices, including security, reliability, and reducing data transmission latency. Subsequently, various wireless communication technologies, such as 5G, Zigbee, and LoRaWAN, are analyzed, emphasizing their advantages, disadvantages, and applications in an industrial environment. The paper aims to provide a deeper understanding of wireless technologies in an industrial context and offer guidelines for their implementation in developing intelligent industrial systems.

Keywords: IoT (Internet of Things), Industrial IoT, Wireless communication , technologies, sensors, protocols for IoT.

12. ŽIVOTOPIS

Luka Hnatek rođen je 1. travnja 1999. godine u Osijeku, Republika Hrvatska. Živi u selu Beketinci. Osnovnu školu završava u Osnovnoj školi *"Milka Cepelića"* Vuka. 2013. godine upisuje srednju školu u Osijeku, smjer *"Tehničar cestovnog prometa"* u Elektrotehničkoj i prometnoj školi Osijek. Nakon uspješno položene mature 2020. godine upisuje preddiplomski stručni studij, smjer elektroenergetika, FERIT u Osijeku, Republika Hrvatska.