

Internet stvari - nova generacija

Mimica, Lovel

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:211:536854>

Rights / Prava: [Attribution 3.0 Unported](#)/[Imenovanje 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
VARAŽDIN**

Lovel Mimica, mag. oec.

**INTERNET STVARI - NOVA GENERACIJA
DIPLOMSKI RAD**

Varaždin, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE

V A R A Ž D I N

Lovel Mimica, mag. oec.

Matični broj: 35918/07–R

Studij: Organizacija poslovnih sustava

INTERNET STVARI - NOVA GENERACIJA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Vrčec

Varaždin, studeni 2020.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njemu navedeni. Za izradu rada su korištene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada.

Autor potvrdio prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI-radovi

Sažetak

Primarni cilj ovog rada bio je kompresivno prikazati područje interneta stvari u svim njegovim važnijim dimenzijama. Tako je prikazana geneza tog pojma, skup tehnologija čiji je razvoj podupro razvoj područja interneta stvari i najvažniji modeli arhitekture. Dalje je analizirana primjena sustava interneta stvari u raznim domenama i geografskim regijama, te utjecaj dotične primjene na gospodarstvo, tržište rada i poslovne organizacije.

Sekundarni cilj rada bio je izraditi ogledni prototip sustava interneta stvari, putem kojeg bi se u praksi prikazali osnovni koncepti obuhvaćeni teorijskim dijelom rada. Shodno s time, izrađen je prototip sustava pametnog kućanstva, te je njegova dokumentacija priložena u empirijskom dijelu rada.

Ključne riječi: internet stvari, primjena interneta stvari, razvoj interneta stvari, arhitektura interneta stvari, trendovi interneta stvari, tržište interneta stvari, utjecaj interneta stvari

SADRŽAJ

1. Uvod	3
2. Metode i tehnike rada	5
3. Pojam interneta stvari	6
3. 1. Definicija interneta stvari	6
3.2. Geneza interneta stvari	9
3.3. Podupiruće tehnologije razvoja interneta stvari	12
3.3.1. RFID	12
3.3.2. IPv6	13
3.3.3. Wi - Fi	13
3.3.4. 5G	13
3.3.5. NFC	14
3.3.6. ZigBee	14
3.3.7. Bluetooth	14
3.3.8. EPC	14
3.3.9. WSN	15
3.3.10. Protokoli transfera podataka	15
4. Modeli arhitekture sustava interneta stvari	17
4.1. Troslojna arhitektura sustava interneta stvari	17
4.2. Petoslojna arhitektura sustava interneta stvari	19
4.3. Oblako - centrična arhitektura sustava interneta stvari	20
4.4. Rubno - centrična arhitektura sustava interneta stvari	22
4.5. Arhitektura sustava interneta stvari temeljna na blockchain tehnologijama	25
5. Domene primjene interneta stvari	27
5.1. Primjena interneta stvari u industriji	27
5.2. Primjena interneta stvari u zdravstvu	29
5.3. Primjena interneta stvari u pametnim gradovima	30
5.4. Primjena interneta stvari u pametnim kućanstvima	32

5.5. Primjena interneta stvari u energetici	33
5.6. Primjena interneta stvari u agrikulturi	35
5.7. Ostala područja primjene interneta stvari	36
6. Utjecaj i budući trendovi interneta stvari	37
6.1. Utjecaj interneta stvari na gospodarski rast	37
6.2. Utjecaj interneta stvari na tržište rada	39
6.3. Utjecaj interneta stvari na poslovne organizacije	40
6.4. Budući trendovi interneta stvari	40
7. Prototip sustava pametnog kućanstva	42
7.1. Upravljački modul	44
7.1.1. ThingSpeak web servisi	44
7.1.2. Google Assistant i IFTTT apleti	45
7.2. Modul nadzora dima	48
7.3. Modul nadzora pokreta	52
7.4. Modul za upravljanje aktuatorima	57
8. Zaključak	68
LITERATURA	69
SLIKE	77

1. Uvod

Internet stvari (eng. *Internet of Things - IoT*) postaje sve važniji pojam suvremenog doba i postaje sve prisutniji u raznim aspektima ljudskih života. O tome nam svjedoči čak i letimičan pogled osnovnih statističkih pokazatelja iz tog konteksta za 2020. godinu, kao na primjer:

- 50 milijardi umreženih uređaja [1]
- 40% udio primjene u industriji [2]
- 1.7 trilijuna dolara vrijedno globalno tržište [2]
- 127 novih umreženih uređaja svake sekunde [2]
- 823 milijarde dolara privatnih investicija [2]
- 72 milijarde dolara osobne potrošnje [2]
- 500 milijardi dolara državne potrošnje i investicija [2]
- 34.35 milijardi dolara investicija u pametne gradove [3]

Shodno s navedenim, internet stvari postaje sve više zanimljiv i stručnoj informatičkoj javnosti, ali i općoj populaciji. Može se reći da bi svaki informatičar budućnosti trebao poznavati barem osnove tog područja, s obzirom na to da će vjerojatno imati značajnog utjecaja na njegov i poslovni i privatni život.

Prethodna misao je i izvorište autorove motivacije za izradu ovog rada. Preciznije, polazeći od cilja da se autor osobno upozna s područjem interneta stvari, ovaj rad je izrađen sa svrhom prikaza osnovnih koncepata i definicija, trenutnog stanja razvoja, primjene i utjecaja na poslovne prakse, gospodarstvo i tržište rada, kao i budućih trendova razvoja područja interneta stvari.

Shodno s time, u prvom dijelu rada je tema teorijski razrađena kroz 3, 4, i 5. poglavlje, gdje se u 3. poglavlju definirao internet stvari i srodni mu pojmovi, te je prikazana geneza tog područja. U 4. poglavlju su navedene i opisane najrelevantnije tehnologije koje podupiru razvoj područja interneta stvari. U 5. poglavlju su navedeni i opisani najrelevantniji modeli arhitekture sustava interneta stvari. U 6. poglavlju su prikazane primjene sustava interneta stvari u različitim domenama, te su u 7. poglavlju prikazani efekti razvoja područja interneta

stvari na rast gospodarstva, tržište rada, poslovne organizacije i navedeni su najvažniji očekivani trendovi vezani za to područje.

U drugom, empirijskom dijelu rada, je razvijen ogledni prototip jednostavnog kućnog sustava interneta stvari, s centralnim upravljanjem u oblaku, a koji korisniku pruža nekoliko oglednih usluga iz domene pametnog kućanstva. Sustav je dizajniran modularno s ciljem da bude lako proširiv novim uređajima i modulima, odnosno svojstvima.

Shodno s time u 8. poglavlju je prezentiran navedeni sustav i pripadajuća mu dokumentacija.

2. Metode i tehnike rada

U okviru teorijske razrade predmeta istraživanja ovoga rada, korištene su sljedeće metode:

- prikupljanje sekundarnih podataka
- indukcija
- dedukcija
- deskripcija
- modeliranje

Konkretnije, prilikom istraživanja pojma interneta stvari, te njegovog utjecaja na poslovne prakse, gospodarstvo i tržište rada, pročitani su znanstveni i stručni članci, te su prikupljeni sekundarni statistički podaci, relevantni za tu temu, s niza web izvora. Na temelju uvida u širi korpus dostupne literature, napisan je deskriptivni prikaz najvažnijih saznanja.

Drugim riječima, teorijski dio ovog rada predstavlja svojevrsan pregled suvremene literature u internetu stvari.

Pri izradi empirijskog projekta sustava interneta stvari, korišteni su mikrokontroleri serije ESP32 [4], s ugrađenim modulom za spajanje na Wi - Fi, te za izradu programskog koda korišteno razvojno okruženje Arduino Create [5], a kao upravljačka jedinica je korišten sustav Google Assistant [6], integriran s IFTTT apletom [7] i ThingSpeak web servisima [8]. Za izradu arhitekture, UML dijagrama i drugih grafičkih modela, korišteni su web alati draw.io [9] i circuito.io [10].

U kontekstu pripreme za izradu navedenog projekta, završen je Udemy kurs Arduino Programming and Hardware Fundamentals with Hackster [11], i brojne kraće video lekcije s platforme Youtube.

3. Pojam interneta stvari

3. 1. Definicija interneta stvari

S obzirom na to da se radi o relativno novom terminu i području, još uvijek ne postoji jednoznačna definicija što internet stvari točno podrazumijeva i obuhvaća. Stoga su u nastavku navedene neke od brojnih definicija koje "kruže" u pripadajućim znanstvenim i stručnim krugovima:

- Internet stvari obuhvaća svijet umreženih uređaja koji nam život čine lakšim [12]
- Infrastruktura koja povezuje fizičke objekte (stvari) koristeći IP protokol, te im tako omogućuju da međusobno komuniciraju i dijele informacije [13]
- Globalna mreža međupovezanih uređaja jedinstveno adresiranih temeljen standardnih komunikacijskih protokola [1]
- Međupovezanost senzornih i aktuatorskih uređaja koji imaju sposobnost da dijele informacije kroz standardizirani okvir, tako razvijajući zajedničku operativnu sliku za omogućavanje inovativnih aplikacija. To se ostvaruje putem efikasnog i opsežnog motrenja okoline, analize prikupljenih podataka i njihove prezentacije koristeći sve prisutne senzore i računalstvo u oblaku [14]
- Globalna infrastruktura, koja predstavlja dio informacijskog društva i omogućava napredno korištenje umreženih fizičkih i virtualnih stvari temeljeno na postojećim i razvijanim informacijskim i komunikacijskim tehnologijama [15]
- Otvorena i sveobuhvatna mreža inteligentnih objekata koji imaju sposobnost samoorganiziranja, razmjene informacija, podataka i resursa, reagiranja i djelovanja u skladu sa situacijom i promjenama u okolini [16]
- Mreža fizičkih objekata koja sadrži tehnologiju za motrenje i/ili interakciju sa svojom okolinom i/ili internim stanjem [17]
- Povezivanje pametnih fizičkih entiteta (senzora, uređaja, strojeva, imovine i proizvoda) između sebe, s web servisima i s drugim računalnim aplikacijama [18]

- Internet stvari predstavlja praktičnu manifestaciju ranije definiranih koncepata sveprisutnog računarstva (eng. *ubiquitous computing*) i pametne okoline (eng. *ambient intelligence*) [19]
- Skup fizičkih i/ili virtualnih uređaja sposobnih komunicirati u realnom vremenu [20]
- Internet stvari je paradigma u kojoj objekti opremljeni senzorima, aktuatorima i procesorima međusobno komuniciraju s nekom praktičnom svrhom [21]

Iako se niz može nastaviti u nedogled, iz navedenoga se već mogu uvidjeti dodirne točke većine definicija, i na temelju toga je postavljena radna definicija za potrebe ovog istraživanja:

- Internet stvari podrazumijeva paradigmu u kojoj fizički i/ili virtualni objekti (stvari) imaju sposobnost opažanja okoline i reagiranja na istu, te sposobnost direktnog i/ili indirektnog umrežavanja s drugim uređajima s ciljem interoperabilne suradnje i podjele informacija. Navedena sposobnost se temelji na internet tehnologijama.

Uz pojam interneta stvari se usko povezuju i sljedeća dva pojma koja su, shodno s njihovom relevantnosti za predmet istraživanja, također u nastavku pobliže prikazana.

Senzori predstavljaju dijelove umreženih objekata koji služe za detekciju stanja i promjena u okolini (eng. *context awareness*) [21]. Senzori mogu biti:

- Senzori temeljeni na mobilnim tehnologijama
 - Podrazumijevaju senzore koji se temelje na senzorima ranije ugrađivanim u mobilne uređaje. Neki od najznačajnijih senzora ove kategorije su:
 - Akcelerometar
 - Žiroskop
 - Kamera
 - Mikrofon
 - Magnetometar
 - GPS
 - Senzor svjetla

- Senzor udaljenosti

- Medicinski senzori

- Koriste se za mjerenje i nadzor različitih parametara ljudskoga tijela, pogotovo u situacijama kada korisnik nije u blizini ustanove zdravstvene skrbi. Tako se ostvaruje uvid u pacijentovo stanje u realnom vremenu, što otvara brojne mogućnosti u kontekstu boljeg razumijevanja korisnikovog stanja i pravovremene reakcije na zdravstvene probleme. Neki od značajnijih medicinskih senzora su pametni satovi i elektronične tetovaže. Uz zdravstvenu, ovi senzori imaju svoju primjenu i u sportskom kontekstu.

- Neurosenzori

- Temelje se na tehnologiji za očitavanje moždanih valova, putem koji pružaju informaciju o korisnikovom mentalnom stanju u pogledu opuštenosti, pozornosti i/ili fokusa. Prevladavajući oblik primjene ovog senzora je kroz pripadajuće trake za glavu.

- Senzori okoliša

- Koriste se za mjerenje parametara fizičke okoline kao što su temperatura, vlažnost, tlak, zagađenje vode i/ili zraka. Temelje se na standardnim tehnologijama za mjerenje spomenutih varijabli, kao što su termometar, barometar i sl.

- Kemijski senzori

- Ovaj tip senzora se koristi za detekciju kemijskih i biokemijskih supstanci u nekoj smjesi (npr. razina zagađenja u zraku, kvaliteta/pokvarenost hrane i sl). Kao značajniji predstavnici ovog tipa senzora se ističu elektronički nos i elektronički jezik.

Aktuatori su uređaji koji na temelju dobivenog upravljačkog signala djeluju na okolinu, tako da električnu energiju pretvaraju u neki drugi korisni oblik energije. Primjera ovih uređaja ima niz, kao što su mehanizmi za otključavanje/zaključavanje vrata, paljenje/gašenje svjetla, kontroleri temperature (putem termostata), te kao što je digitalni prst koji predstavlja nešto sofisticiraniji tip aktuatora [21].

Prema tipu energije koji emitiraju kao rezultantu, aktuatori se mogu podijeliti u sljedeće kategorije [22]:

- Električni aktuatori
 - Koriste električnu energiju za ostvarivanje mehaničkih pokreta
- Hidraulični aktuatori
 - Koriste hidrauliku za ostvarivanje mehaničkih pokreta
- Pneumatski aktuatori
 - Koriste se energijom kompresiranog zraka za ostvarivanje mehaničkih pokreta

3.2. Geneza interneta stvari

Iako ideja opće - umreženog svijeta datira od još dosta ranije, prva implementacija paradigme interneta stvari je zabilježena 1982. godine na kampusu sveučilišta Carnegie Mellon, u gradu Pittsburghu i državi Pennsylvaniji.

Konkretno, ondašnji studenti računarstva su uređaj za prodaju koka kole funkcionalno proširili tako da je u sebi sadržavao senzore koji su detektirali koliko je boca koka kole ostalo u uređaju i to stanje dojavljivalo relevantnim osobama putem ARPANET mreže (što je preteča današnjeg interneta) [23].

Prvo spomen pojma interneta stvari se zbio 1999. godine od strane britanskog tehnološkog pionira Kevina Ashtona u kontekstu upravljanja opskrbnim lancem [24].

Od tog prvog spomena, do danas kada svijet broji i do 50 milijardi umreženih uređaja, prošlo je više od 20 godina, te su u nastavku na vremenskoj crti istaknuti svi važniji događaji relevantni za genezu područja interneta stvari.

1999

Kevin Ashton prvi formulira pojam interneta stvari na Massachusetts Institute of Technology, MIT) [16]

1999

Prva sistematična rasprava o temeljima područja interneta stvari u knjizi Neila Gershenfelda "Kada stvari počinju misliti" (eng. *When Things Start to Think*) [16]

2000

Kompanija LG razvija prvi pametni frižider [22]

2003 - 2004

Masovna implementacija RFID tehnologije u javnom i privatnom sektoru gospodarstva SAD - a [16]

2005

Međunarodna telekomunikacijska unija (eng. *International Telecommunications Union, ITU*), pri UN - u objavljuje prvi izvještaj o stanju u području interneta stvari [16]

2007

Kompanija Apple pušta u prodaju prvi iPhone pametni telefon [25]

2008

Održana prva konferencija Europske Unije o internetu stvari [16]

2009

Google počinje s testiranjem prvih samovozećih automobila [25]

Kompanija St. Jude Medical prva značajnije implementira internet stvari u zdravstvenom sektoru i to u kontekstu udaljenog nadzora stanja kardio implanata svojih pacijenata [26]

2010

Kineski premijer Wen Jiabao ističe internet stvari kao jedan od ključnih kineskih industrijskih sektora [16]

2011

Puštanje IPv6 protokola koji omogućuje 2^{126} adresa, što napokon postaje dostatno za potrebe adresiranje eksponencijalno rastućeg broja umreženih uređaja [16]

2012

8.7 milijardi umreženih uređaja [27]

2013

Google pušta u prodaju prve pametne naočale Google Glass

2014

Amazon pušta u prodaju svoj prvi pametni zvučnik Echo, integriran s inteligentnim virtualnim asistentom Alexa [25]

2015

Prvi put spomenut pojam četvrte industrijske revolucije [28]

2016

22.9 milijardi umreženih uređaja [27]

Detektiran Mirai, prvi maliciozni softver usmjeren na internet stvari [28]

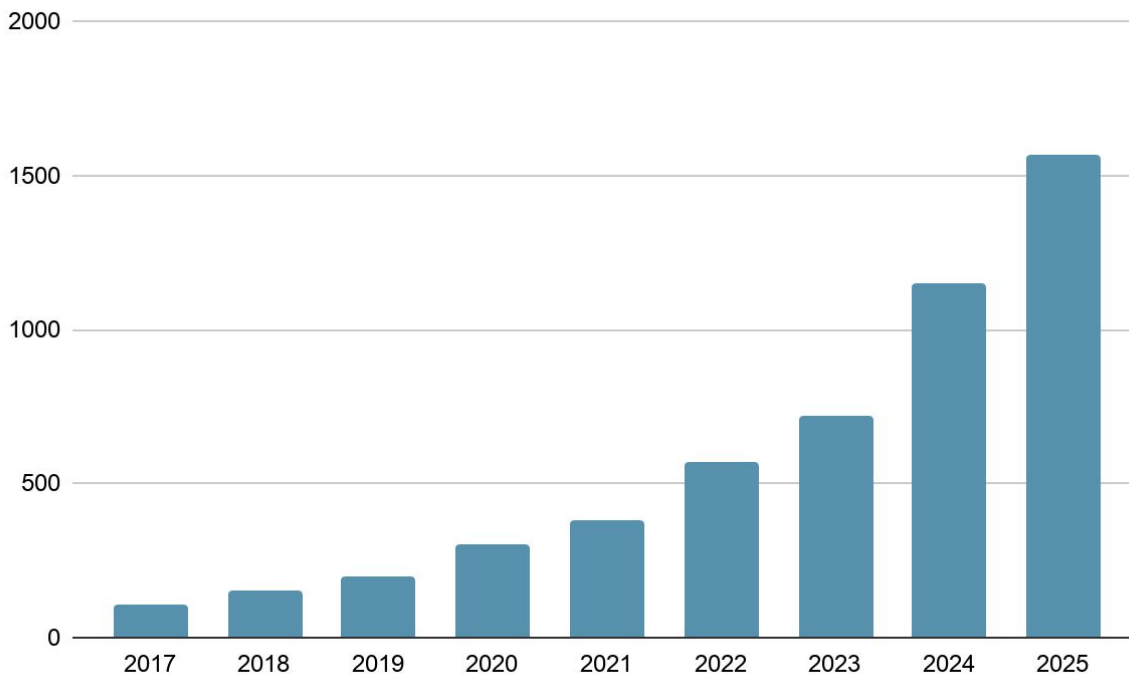
2017 - 2019

Progresivna penetracija interneta stvari u razne domene (industrija, kućanstvo, zdravstvo, edukacija, sigurnost itd), te povezivanje s drugim komplementarnim područjima (umjetnom inteligencijom, blockchainom i sl)

2020

50 milijardi umreženih uređaja [27]

U nastavku je priložen i prikaz kretanja globalne vrijednosti tržišta interneta stvari u periodu od 2017 do 2025 (za period od 2020 do 2025 je predstavljena procijenjena vrijednost).



Slika 1. Globalna vrijednost tržišta interneta stvari u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [29])

Iz navedene vremenske crte i priloženog grafa možemo uvidjeti brzu i višedimenzionalnu dinamiku razvoja područja interneta stvari i progresivan rast broja umreženih uređaja, od trenutka kada je pojam formuliran do danas.

3.3. Podupiruće tehnologije razvoja interneta stvari

Uz opće povećanje digitalne pismenosti i prihvaćanja tehnologije koje je sve više prisutno u suvremenom društvu, razvoju područja interneta stvari primarno je omogućen i podupiran razvojem informatičkih tehnologija na koje se područje naslanja.

Najznačajnije od tih tehnologija su navedene i kratko opisane u nastavku.

3.3.1. RFID

RFID predstavlja tehnologiju temeljenu na radio valovima, korištenu u svrhu identifikacije različitih objekata. RFID sustav se sastoji od dvije osnovne komponente, odnosno od RFID oznake koja šalje odgovarajuće signalne radio valove RFID čitaču koji na temelju toga vrši identifikaciju [30].

Navedena tehnologija uvelike je olakšala komunikaciju među umreženim uređajima u nizu domena primjene interneta stvari.

3.3.2. IPv6

IP protokol je primarni komunikacijski protokol korišten na internetu, razvijen tijekom 70 - tih godina 20. stoljeća. Koristi se za adresiranje uređaja na rubovima mreže koji međusobno komuniciraju, te čvorišta koji se nalaze između tih uređaja i preko kojih prolazi dotična komunikacija. IP protokol vrši usmjeravanje podatkovnih paketa u komunikacijskim čvorištima mreže, te ih usmjerava prema krajnjem odredištu na rubu mreže. Usmjeravanje se temelji na datagramima [16].

Prethodna verzija protokola IPv4 temelji adresiranje na 32 - bitnom zapisu, jedinstvenom za dotični uređaj, što omogućuje maksimalno 2^{32} (4.3 milijarde) istovremeno adresiranih uređaja i kao takvo je predstavljalo potencijalno ograničenje širenju interneta stvari. Verzija IPv6 taj problem rješava, tako što adresiranje temelji na 128 - bitnom zapisu, što teoretski otvara mogućnost za 2^{128} (85 000 trilijuna) adresa [16], koje bi trebale biti i više nego dovoljne za dogledne potrebe razvoja područja interneta stvari.

3.3.3. Wi - Fi

Predstavlja mrežnu tehnologiju koja omogućava uređajima da komuniciraju putem bežičnog signala [16]. Konkretnije, podrazumijeva protokol koji specificira kako se bežični prijenos podataka treba odvijati. Najveća tehnološka strukovna udruga IEEE je specificirala protokol 802.11 kao skup standarda koje Wi - Fi uključuje [31].

Danas je na mnogo područja, kao što su kućanstva, uredi, zgrade, sve više i čitavi gradovi, prisutna lokalna bežična mreža temeljena na Wi - Fi tehnologiji, što uvelike olakšava rad i razvoj sustava interneta stvari [16].

3.3.4. 5G

Predstavlja petu generaciju mobilnog interneta, koju karakteriziraju visoke brzine prijenosa, niska latencija i široka područna pokrivenost [32]. Navedena tehnologija omogućava umrežavanje lokacijski disperziranih uređaja, kao i njihovu kontinuiranu spojenost na mrežu čak i u slučaju brzog kretanja dotičnog uređaja. To otvara širok spektar mogućnosti u pogledu umrežavanja širokog spektra uređaja koji se nalaze na prostorno disperziranim

lokacijama (do sada ne pokrivenih internet signalom) ili su često u pokretu (kao npr automobili, satovi i sl), te njihovog finog upravljanja (bez latencije).

3.3.5. NFC

Predstavlja kratkopojasnu tehnologiju bežičnog umrežavanja, koja se razvila iz RFID tehnologije [33]. Karakteriziraju je svojstva da ne zahtijeva prisutnost u vidnom polju da bi se konekcija uspostavila, dobro funkcioniranje u nečistim okolinama [16], te izostanak potrebe uparivanja uređaja [33].

Kao takva predstavlja relativno jednostavan način za ostvarivanje jeftine komunikacije dva umrežena uređaja koja imaju ugrađenu NFC tehnologiju, te time olakšava razvoj i primjenu interneta stvari u nizu aspekata, kao što su, uz ostale, mobilna plaćanja.

3.3.6. ZigBee

Predstavlja protokol namijenjen komunikaciji između umreženih senzornih uređaja. Karakterizira ga troškovna efikasnost, niski volumeni prijenosa, relativno kratak doseg, visoka pouzdanost, fleksibilnost i skalabilnost. Prema [16] temelji se na IEEE - ovom 802.15.4 standardu [34].

Kao takav ima široku upotrebu u pametnim kućanstvima, digitalizaciji agrikulture, industrije, zdravstva i drugim domenama primjena interneta stvari, predstavlja najprošireniji standard na području interneta stvari [16], te znatno olakšava razvoj tog područja.

3.3.7. Bluetooth

Predstavlja, prema [16], resursno efikasnu, kratkopojasnu tehnologiju bežičnog umrežavanja uređaja, temeljenu na radio valovima i IEEE - ovom 802.15.1 standardu [35]. Pošto ima kapacitet umrežavanja od 2 do 8 uređaja, predstavlja jednu od tehnoloških opcija za relativno jednostavne sustave interneta stvari [36].

3.3.8. EPC

Podrazumijeva 64 - bitni ili 98 - bitni kod koji se elektronički zapisuje u RFID oznaku, koji se onda koristi kao identifikator uređaja na koji se odnosi, te sadrži podatke o jedinstvenom serijskom broju uređaja, njegovim svojstvima i specifikacijama, proizvođaču i sl. Ova

tehnologija ima intenciju proširiti klasično identificiranje uređaja temeljeno na bar kodovima [16].

Kao takva, EPC tehnologija znatno olakšava rad i stvara dodatne potencijale u kontekstu umrežavanja uređaja, osobito u kontekstu upravljanja lancem opskrbe gdje olakšava praćenje kretanja i stanja proizvoda, te kroz taj i druge aspekte doprinosi razvoju područja interneta stvari.

3.3.9. WSN

Podrazumijeva bežičnu mrežu prostorno disperziranih autonomnih uređaja, koji kooperativno nadziru stanje okoline na nekom području, motreći varijable kao što su temperatura, zvuk, vibracija, tlak i sl [16]. U pogledu topologije WSN mreže mogu biti zvjezdaste, stablaste i mrežaste, a u pogledu tipa, prema [37], dijele se na nadzemne, podzemne, podvodne, mobilne i multidimenzionalne.

Kao takve, WSN mreže predstavljaju važnu komponentu sustava interneta stvari, te njihov razvoj uvelike utječe i na razvoj cijelog područja.

3.3.10. Protokoli transfera podataka

Protokoli transfera podataka osiguravaju efikasan i povjerljiv prijenos velikih količina podataka između umreženih uređaja. Tako omogućuju razvoj distribuiranih aplikacija s kvalitetnim servisom prijenosa podataka među aplikacijskim modulima, odnosno uređajima na kojima se oni izvršavaju. Prema [36], osnovni zadaci tih protokola su:

- Predstavljati dvosmjernan kanal komunikacije između čvorova distribuirane aplikacije
- Precizno dostaviti svaku poslanu poruku i izvijestiti o isporuci, odnosno grešci ako isporuka nije izvršena
- Otkriti i ukloniti svaki defektni ili duplicirani segment poruke, provjerom njihovih kontrolnih suma i rednih brojeva
- Opcionalno ponuditi sekvencijalno slanje poruke, u situacijama prekida veze kada je samo dio poruke poslan, a drugi dio će biti kada se veza ponovo uspostavi
- Potvrditi primitak svakog ispravnog segmenta koji stigne na odredište

Najznačajniji od tih protokola su navedeni i kratko opisani u nastavku.

MQTT

Predstavlja aplikacijski protokol temeljen na objavi / pretplati (eng. *publish / subscribe*) konceptu, dizajniran za komunikaciju u situacijama niske mrežne propusnosti. Izvršava se iznad TCP protokola [38].

CoAP

Predstavlja aplikacijski protokol temeljen na REST modelu, namijenjen primjeni u uvjetima ograničenih mrežnih resursa. Slično kao HTTP omogućava pristup resursima putem kreiranja zahtjeva s metodama GET, PUT, POST i DELETE. Izvršava se iznad UDP protokola [39].

AMQP

Predstavlja aplikacijski protokol za podršku razmjeni poruka između aplikacija i organizacija. Omogućuje pouzdanu i sigurnu direktnu komunikaciju između čvorova, te objavi / pretplati koncept [36]. Osnovne karakteristike ovog protokola su sigurnost, pouzdanost, interoperabilnost, standardiziranost i otvorenost [40].

Web socket

Predstavlja protokol za komunikaciju između računala. Za razliku od HTTP - a, osigurava perzistentnu dvosmjernu komunikaciju u okviru jedne TCP konekcije, s niskom latencijom. Nalazi svoju primjenu u nizu web aplikacija koje zahtijevaju kontinuiranu sinkronizaciju sadržaja (kao npr. u kontekstu VOIP - a, video prijenosa, tekstualnog dopisivanja i sl). Kao što je bilo riječi, izvršava se iznad TCP protokola [36].

4. Modeli arhitekture sustava interneta stvari

S obzirom na relativnu mladost područja interneta stvari, još uvijek postoji niz alternativnih i perspektiva gledanja na arhitekturu tih sustava, kao i niz alternativnih prijedloga njihovih osnovnih arhitekturnih modela.

Prema [41], kao tri osnovne perspektive gledišta na arhitekturu sustava interneta stvari se ističu:

- Perspektiva orijentirana uređajima (stvarima)
 - Fokusirana na umrežene uređaje, odnosno senzore, aktuatore i oznake. Predstavlja klasičan pristup modeliranju arhitekture sustava interneta stvari.
- Semantički orijentirana perspektiva
 - Fokusirana na protok podataka i informacija između različitih podsustava, te na način kako se tim putem ostvaruje poslovna vrijednost
- Mrežno orijentirana perspektiva
 - Fokusirana na dva primarna aspekta, srednji sloj sustava namijenjen podršci upravljanju podacima na serverima, te na aspekt umreženosti koji podrazumijeva transportni, mrežni i sloj veze podataka.

U nastavku su navedeni i opisani neki od značajnijih modela arhitekture sustava interneta stvari.

4.1. Troslojna arhitektura sustava interneta stvari

Postavljena u ranim fazama razvoja tog područja, predstavlja najosnovniji model arhitekture sustava interneta stvari. Prema ovom modelu sustav interneta stvari se sastoji od tri osnovna sloja, gdje svaki sloj ima svoj relativno modularan set zadaća [21]:

Aplikacijski sloj

Podrazumijeva skup različitih aplikacija u kojima je implementiran sustav interneta stvari, a zadužen je za dostavu i prezentaciju relevantnih informacija korisniku, te služi kao sučelje za njegovu interakciju sa sustavom.

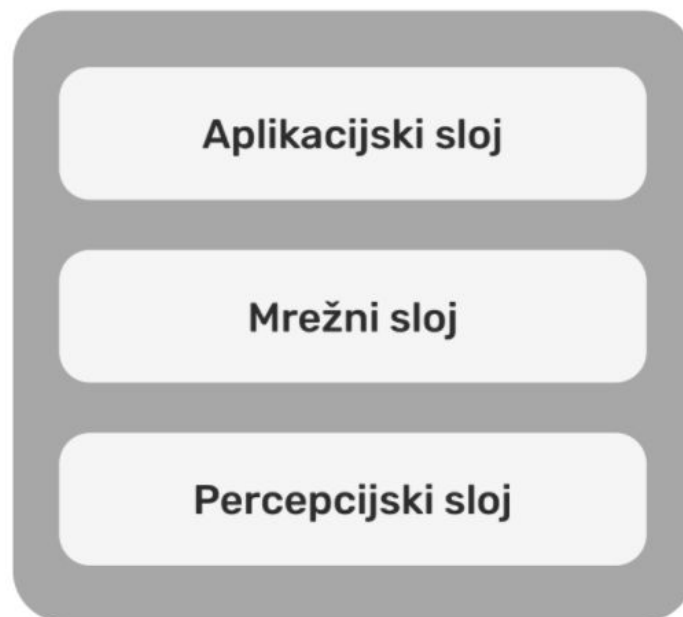
Mrežni sloj

Mrežni sloj zadužen je za spajanje objekata sustava interneta stvari, što može podrazumijevati povezivanje pametnih uređaja međusobno ili njihovo povezivanje s drugim mrežnim uređajima i serverima. Također izvršava zadatke osnovne obrade i emitiranja podataka od senzora.

Percepcijski sloj

Obuhvaća set senzora koji snimaju i prikupljaju podatke o stanju okoline. Pod time se podrazumijeva mjerenje određenog fizičkog parametra ili identificiranje drugih pametnih objekata u blizini datog senzora.

U nastavku je priložen grafički prikaz hijerarhije slojeva u ovom modelu arhitekture.



Slika 2. Model troslojne arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [21])

Uz navedeni model troslojne arhitekture, postoje i alternativni modeli, kao što je Quian Xiao Congov i Zhang Jidongov model koji sustav interneta stvari dijeli na (1) sloj procesora, (2) sloj transporta i (3) sloj aplikacija [12].

4.2. Petoslojna arhitektura sustava interneta stvari

Razvila se kao svojevrsno proširenje troslojne arhitekture, te ju nadograđuje tako da nad aplikacijski dodaje još i poslovni sloj, a mrežni sloj dijeli na dva dijela. Tako prema ovom modelu sustav interneta stvari ima sljedeće slojeve [12]:

Poslovni sloj

Podrazumijeva poslovni kontekst određenog sustava interneta stvari. Obuhvaća upravljačke procese, poslovne modele, aspekte zaštite privatnosti korisnika i sl.

Aplikacijski sloj

Kao i kod troslojne arhitekture podrazumijeva skup različitih aplikacija u kojima je implementiran sustav interneta stvari, a zadužen je za dostavu i prezentaciju relevantnih informacija korisniku, te služi kao sučelje za njegovu interakciju sa sustavom.

Sloj obrade podataka

Predstavlja srednji sloj sustava interneta stvari, zadužen za analizu i obradu velikih količina podataka. Kao takav, nižim slojevima pruža set servisa na koje se isti spajaju.

Transportni sloj

Zadužen je za prijenos senzorskih podataka iz sloja percepcije do sloja obrade podataka i obratno, što ostvaruje pomoću nekih od pripadajućih mrežnih tehnologija (5G, Bluetooth, RFID, NFC i sl).

Sloj percepcije

Kao i kod troslojne arhitekture obuhvaća set senzora koji snimaju i prikupljaju podatke o stanju okoline. Pod time se podrazumijeva mjerenje određenog fizičkog parametra ili identificiranje drugih pametnih objekata u blizini datog senzora.

U nastavku je priložen grafički prikaz hijerarhije slojeva u ovom modelu arhitekture.



Slika 3. Model petoslojne arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [21])

Uz navedenu, postoji i određen broj alternativnih definicija spomenutih pet slojeva sustava interneta stvari, kao što je arhitekturni model Međunarodne telekomunikacijske unije (eng. *International Telecommunication Union, ITU*), koja ga dijeli na (1) aplikacijski sloj, (2) srednji sloj, (3) mrežni sloj, (4) sloj pristupa i (5) sloj percepcije [22].

4.3. Oblako - centrična arhitektura sustava interneta stvari

Model oblako - centrične arhitekture (eng. *cloud centric IoT architecture*) razvio se iz općeg koncepta računarstva u oblaku (eng. *cloud computing*) [14]. Podrazumijeva centralizirani sustav u kojem periferni uređaji primarno vrše zadaće prikupljanja podataka o stanju okoline te ih šalju na središnji upravljački server koji se nalazi u oblaku. Dotični server implementira servise obrade i čuvanja podataka, izvršavanje poslovne logike, slanja naredbi aktuatorima sustava, te komunikacije s korisničkim aplikacijama koje se spajaju na njega [22].

Kao takav oblako - centričan model arhitekture pruža određenu razinu modularnosti, fleksibilnosti i skalabilnosti sustavima interneta stvari razvijenih po toj paradigmi [21]. Drugim riječima, u ovakvo koncipiranom sustavu moguće je relativno jednostavno sustavu spojiti nove periferne uređaje i/ili korisničke aplikacije koje se temelje na podacima iz sustava. Također olakšana međusobna interoperabilnost perifernih uređaja i korisničkih aplikacija razvijenih u različitim tehnologijama.

U nastavku je priložen grafički prikaz osnovnih komponenti ovog modela arhitekture i njihovih odnosa, iz kojeg se vidi da se kao osnovne kategorije komponenti ističu:

Periferni umreženi uređaji

Podrazumijevaju skup senzora i aktuatora koji su spojeni na upravljački server, te mu dostavljaju podatke o stanju okoline, odnosno primaju od njega komande za obavljanje određene radnje.

Upravljački server

Predstavlja središnju komponentu sustava, na kojoj su se vrši spremanje i obrada prikupljenih podataka, njihova diseminacija klijentskim aplikacijama i zaprimanje komandi od njih, koje se odgovarajuće transformiraju u set komandi za periferne uređaje, kojima se onda prosljeđuju.

Klijentske aplikacije

Obuhvaćaju sve korisničke softvere koje se spajaju na API - e upravljačkog servera i koriste podatke tamo spremljene ili upravljaju perifernim uređajima preko njega.



Slika 4. Model oblako - centrične arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [42])

4.4. Rubno - centrična arhitektura sustava interneta stvari

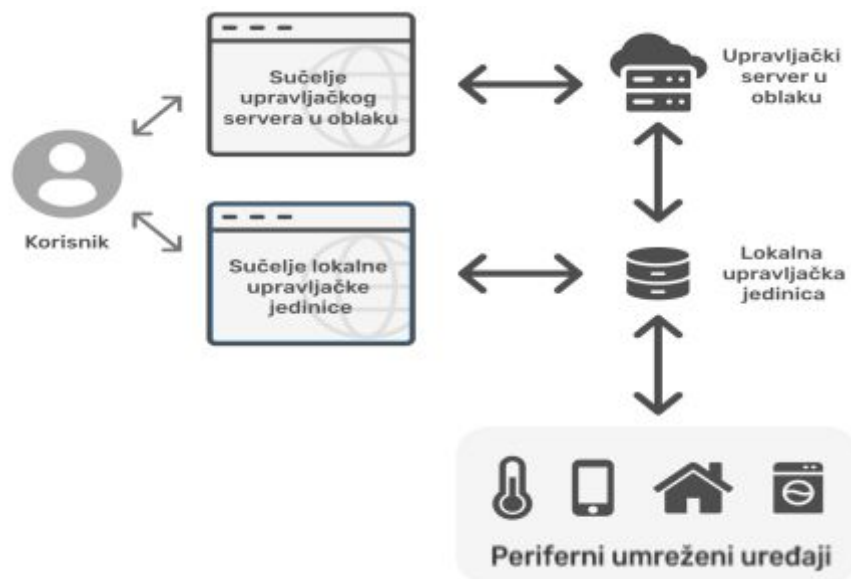
Model rubno - centrične arhitekture (eng. *edge centric IoT architecture*) razvio se nešto kasnije u odnosu na oblako - centrični model, te je nastao kao odgovor na izazove s kojima su se susretali "klasični" oblako - centrični sustavi [21]. Najznačajniji od tih izazova su skalabilnost, efikasno korištenje energije i mrežnih kapaciteta, pošto trenutna internet infrastruktura postaje sve manje dostatna da kvalitetno servisira potrebe rastućeg broja umreženih uređaja [1].

Ovaj model arhitekture podrazumijeva prebacivanje jednog dijela zadataka na periferiju mreže. Uz komponente koje sadrži oblako - centrični model (periferni umreženi uređaji, upravljački server i klijentske aplikacije), ovaj model još dodaje i komponentu lokalne upravljačke jedinice, koja dijelom ili u potpunosti zamjenjuje upravljački server u oblaku. Lokalna upravljačka jedinica se nalazi na periferiji sustava, "blizu" umreženim uređajima, te obavlja zadaće nadzora okoline, (pred)obrade, spremanja i zaštite podataka [21].

U nastavku su priložene slike slojeva sustava koje obuhvaća lokalna upravljačka jedinica i cijelog rubno - centričnog modela arhitekture sustava interneta stvari.



Slika 5. Slojevi koje obuhvaća lokalna upravljačka jedinica u rubno - centričnoj arhitekturi interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [21])



Slika 6. Model rubno - centrične arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [43])

Ostale kategorije komponenti sustava su jednake kao i u oblako - centričnom modelu arhitekture, stoga ovdje nisu posebno opisane.

Osim u pogledu dodatnog tipa komponente, rubno - centrična arhitektura je potakla i određene nove trendove i koncepte u području interneta stvari [1].

Oblak na periferiji mreže

Podrazumijeva pristup u kojem se na periferiji mreže kreiraju široko funkcionalne upravljačke jedinice, koje u visokom dijelu ili potpuno preuzimaju ulogu upravljačke jedinice u oblaku. Drugim riječima, ovaj koncept podrazumijeva postojanje lokalnog oblaka.

Samoorganizirajuća periferija

Podrazumijeva postojanje interoperabilnosti između dva lokalna sustava, putem direktne veze između njihovih komponenti, bez posredovanja centralnih upravljačkih jedinica u oblaku. Tako se stvara dodatan sloj sustava interneta stvari, između periferije i oblaka.

Obrnuti sustav dostave sadržaja

Klasični sustav dostave sadržaja (eng. *content delivery network*, *CDN*), u osnovi, podrazumijeva dohvat često čitanih sadržaja s web mjesta gdje je on kreiran i njihova pohrana u relativnoj blizini korisnika. U kontekstu sustava interneta stvari, sadržaj često ide

u obrnutom smjeru, pošto senzorski podaci predstavljaju velik udio mrežne komunikacije, a oni kao takvi putuju s periferije mreže prema oblaku.

S obzirom na to da sve češće potrebe za brzim pristupom velikim blokovima podataka, u prvom redu video sadržajima (npr. snimkom nadzornih kamera), razvijaju se posebne metode i politike rada s podatkovnim paketima koji imaju dotične sadržaje, koje se skupno nazivaju obrnuti sustav dostave sadržaja (eng. *reverse CDN, rCDN*).

Pametni objekti

Predstavlja pristup koji sve komponente sustava interneta stvari apstraktno promatra kao pametne objekte (umjesto senzore, aktuatora, upravljačke jedinice, korisničke aplikacije i sl), koji imaju svoju reprezentaciju u virtualnom kontekstu. U svom punom obliku, takav pristup podrazumijeva globalno adresiranje svih postojećih objekata, njihovim jedinstvenim identifikatorom, čija bi adresa bila generalno dostupna unutar šireg eko - sustava. Na temelju navedene adrese, preko API - a pametnog objekta, trebaju biti dostupni njegovi meta podaci, te bi trebali biti interoperabilni s drugim pametnim objektima iz svog eko sustava.

Organsko povjerenje

Nastao kao odgovor na izazove iz područja sigurnosti i zaštite podataka, u slijed sve učestalije interoperabilnosti komponenti iz međusobno različitih organizacijskih i drugih sustava, gdje se sigurnosni zahtjevi nisu mogli više rješavati unutarnjim politikama i mjerama na razini jednog sustava.

Naslanja se na koncepte pametnih objekata, a podrazumijeva povjerenje kao svojstvo svakog pametnog objekta. Preciznije, u ovom konceptu se na temelju meta podataka pametnog objekta dobiva opća ocjena njegovog povjerenja, te drugi pametni objekti na temelju te ocjene odlučuju hoće li (i kako) kolaborirati s njim. Osnovne varijable za ocjenu povjerenja, u osnovi obuhvaćaju podatke o ranijim interakcijama dotičnog objekta s drugim pametnim objektima, te ocjenu povjerenja u taj objekt od strane drugih relevantnih pametnih objekata.

Proces ocjene povjerenja u neki pametni objekt, analogno odgovara ljudskim odnosima, kada se na temelju informacija o ranijim postupanjima neke osobe i mišljenja prijatelja o njoj, određuje razina povjerenja u nekoga.

4.5. Arhitektura sustava interneta stvari temeljna na blockchain tehnologijama

Arhitektura temeljena na blockchainu, nastala je kao odgovor na potrebe za mogućnosti reguliranja pristupa pametnim objektima na globalnoj razini. Ta je potreba primarno nastala u slijed sve češće interoperabilnosti sustava iz različitih domena povjerenja, odnosno različitih organizacija, te se ova arhitektura nadovezuje na koncept organskog povjerenja, opisanog u prošlom potpoglavlju.

Navedeni model arhitekture se temelji na jednom pametnom ugovoru (eng. *smart contract*) i ne zahtijeva integraciju blockchain tehnologije u umrežene uređaje, već taj dio zadataka, u njihovo ime, obavlja pripadajuća lokalna upravljačka jedinica, koja komunicira s blockchain mrežom u svrhu prikupljanja i pružanja podataka relevantnih za upravljanje pristupom određenim umreženim uređajem ili sustavom [44].

Blockchain model arhitekture se sastoji od sljedećih komponenti, od kojih su sve osim umreženih uređaja i upravljačkih jedinica, dio blockchain tehnologije [44]:

Umreženi uređaji

Podrazumijeva skup umreženih uređaja, koji predstavljaju dio nekog sustava interneta stvari i kao takvi su povezani na pripadajuću upravljačku jedinicu. S obzirom na to da blockchain tehnologija zahtijeva značajne memorijske, procesorske i energetske resurse, nemaju je integriranu.

Upravljačka jedinica

Predstavlja posrednika između umreženih uređaja i blockchain mreže. Drugim riječima, transformira zahtjeve za pristupom dobivene od (svojih ili vanjskih) umreženih uređaja, u JSON - RPC poruke razumljive blockchain čvorovima.

Čvor menadžera

Predstavlja logički entitet zadužen za upravljanje pristupnim dozvolama za određeni skup umreženih uređaja. Kao takav odgovara upravljačkoj jedinici na poruke vezane za odobravanje pristupa određenom uređaju.

Pametni ugovor

Obuhvaća sva poslovna pravila vezana za upravljanje pristupom uređajima unutar svog eko sustava, te kao takav treba biti jedinstven i globalno pristupačan svim čvorovima blockchain mreže.

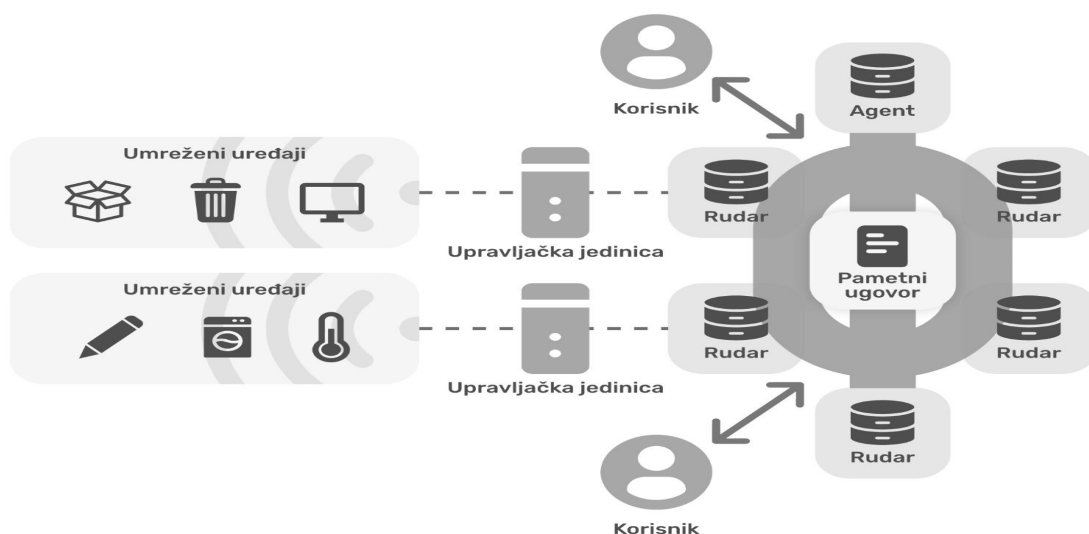
Čvor agenta

Podrazumijeva specifičan čvor blockchain mreže, odgovoran za posjedovanje pametnog ugovora na kojem se pripadajući eko sustav temelji.

Blockchain mreža

Može biti ili privatna ili javna blockchain mreža, koja kao i svaka druga takva mreža sadrži svoje rudare (eng. *miners*) koji je održavaju sigurnom tako što u sebi imaju spremljenu kopiju blockchaina i (načelno, glasovanjem po određenom pravilu) odobravaju ili odbijaju određenu transakciju, u ovom slučaju odobravanje pristupa. Također obuhvaća i gore spomenute čvorove managera i agenta.

U nastavku je priložen grafički prikaz modela arhitekture temeljene na blockchainu.



Slika 7. Model arhitekture sustava interneta stvari temeljene na blockchainu (Izvor: Autor izradio prema [44])

5. Domene primjene interneta stvari

Od početka razvoja područja do danas, internet stvari je našao svoju primjenu u širokom i heterogenom spektru domena, koji se kontinuirano širi, te su u nastavku kratko opisane primjene u najznačajnijim domenama.

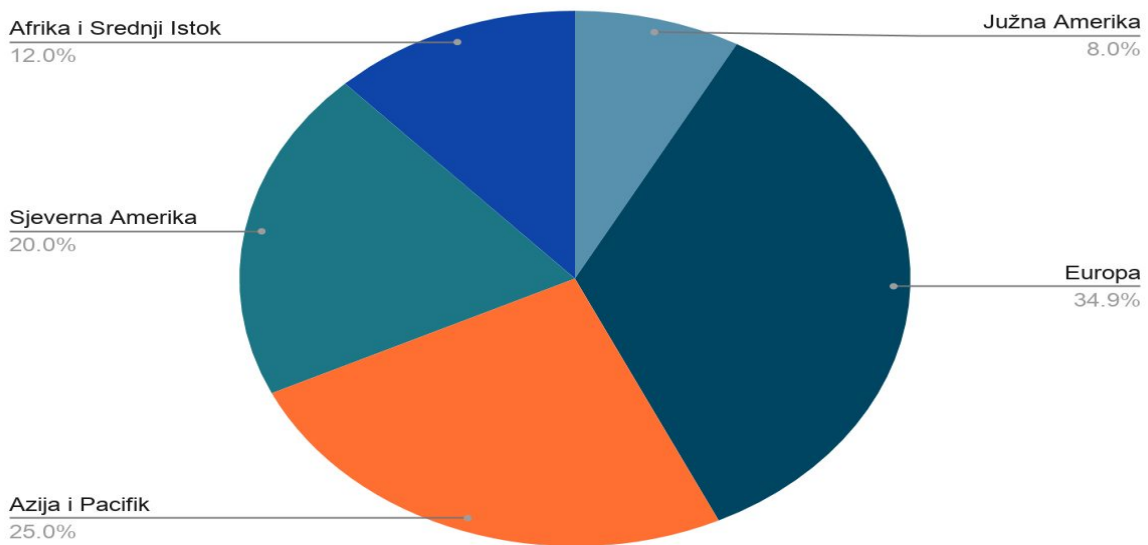
5.1. Primjena interneta stvari u industriji

Industrija i proizvodnja predstavljaju jedno od područja gdje implementacija sustava interneta stvari imaju najvećeg ekonomskog potencijala [45]. Razlog tome leži u činjenici da se putem interneta stvari može unaprijediti niz poslovnih procesa u industriji, te tako ostvariti direktnu ekonomsku korist u vidu uštede ili boljeg usluživanja kupca [46].

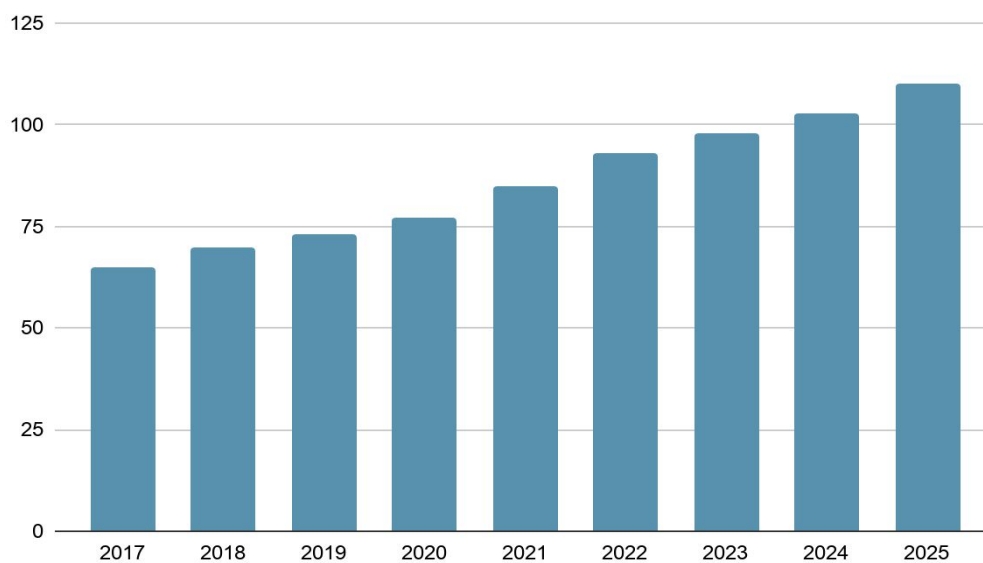
Prema [45] i [47], kao neki od čestih područja implementacije sustava interneta stvari u industriji se ističu:

- Digitalizacija tvornice
- Nadzor toka proizvoda
- Upravljanje opskrbnim lancem
- Upravljanje skladištem
- Sigurnost i zaštita na radu
- Optimizacija procesa pakiranja
- Stvaranje digitalnog blizanaca (eng. *digital twin*) strojeva i proizvoda
- Pametne pumpe

U nastavku je priložene i prikaze kretanja vrijednosti tržišta industrijskog interneta stvari, za regije Sjevernu Amerike, Azije i Pacifika, Europe i ostatka Svijeta.



Slika 8. Veličina tržišta industrijskog interneta stvari, s obzirom na regiju u 2018, u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [48])



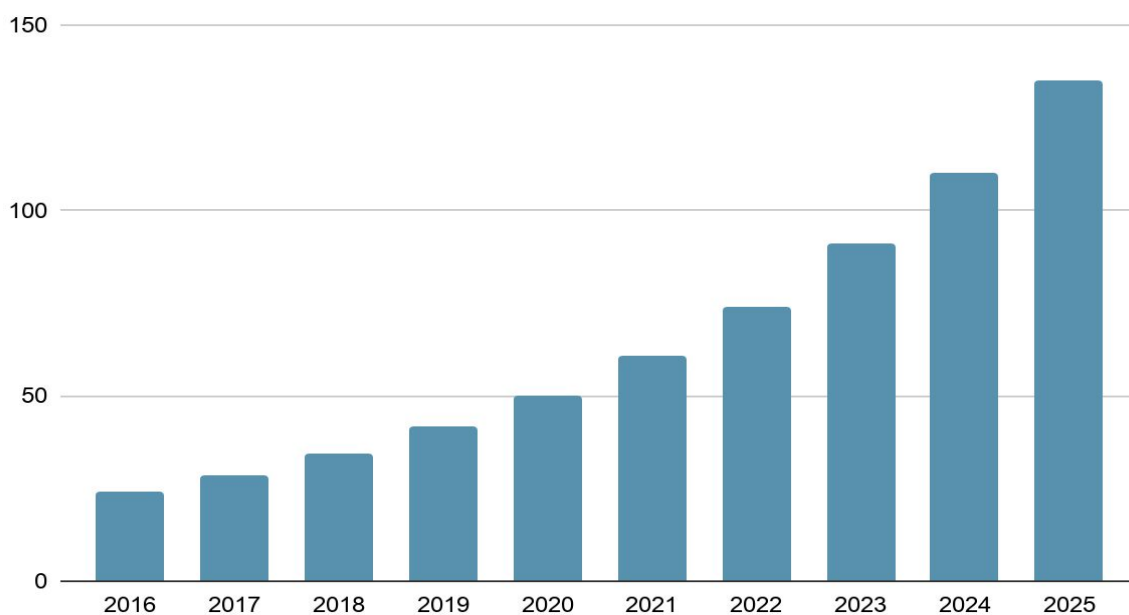
Slika 9. Globalna vrijednost tržišta industrijskog interneta stvari u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [49])

Iz navedenog je vidno da u industrijskoj primjeni interneta stvari znatno prednjače razvijeni dijelovi svijeta, pogotovo Azija i Pacifik, što je i očekivano s obzirom na to da je veći dio svjetske proizvodnje trenutno smješten tamo. Također je uočljiv i stabilan trend rasta u svim regijama.

5.2. Primjena interneta stvari u zdravstvu

Zdravstvo također predstavlja domenu s mnogo potencijala za implementaciju sustava interneta stvari, gdje se najveći dobici ostvaruju u aspektu produženja ili podizanja kvalitete ljudskih života. U tom kontekstu prednjači primjena u svrhu udaljenog nadzora stanja pacijenta i u svrhu automatizacije zdravstvene skrbi za starije ili nemoćne osobe. Takvi sustavi u pravilu podrazumijevaju prisutnost senzora na opremu za nadzor zdravstveno - fizičkog stanja pacijenta, te njihova diseminacija putem mreže prema liječnicima ili drugom medicinskom osoblju, koji na ovaj način dobivaju znatno veći uvid u pacijentovo stanje, a i otvara se mogućnost da se jedan dio odluka oko skrbi prepusti računalu, odnosno automatizira [22].

U nastavku je priložen grafički prikaz kretanja veličine globalnog tržišta zdravstvenih sustava interneta stvari.



Slika 10. Globalna vrijednost tržišta interneta stvari u zdravstvu u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [50])

Iz potonjeg grafa je vidljiv očekivani rast tržišta zdravstvenih sustava interneta stvari, od 462% u periodu od 2016 do 2025, što se poklapa i s procjenom da će 2020 preko 40% umreženih uređaja biti u domeni zdravstva [50], te se također uklapa i u opći trend starenja stanovništva u zemljama Zapada.

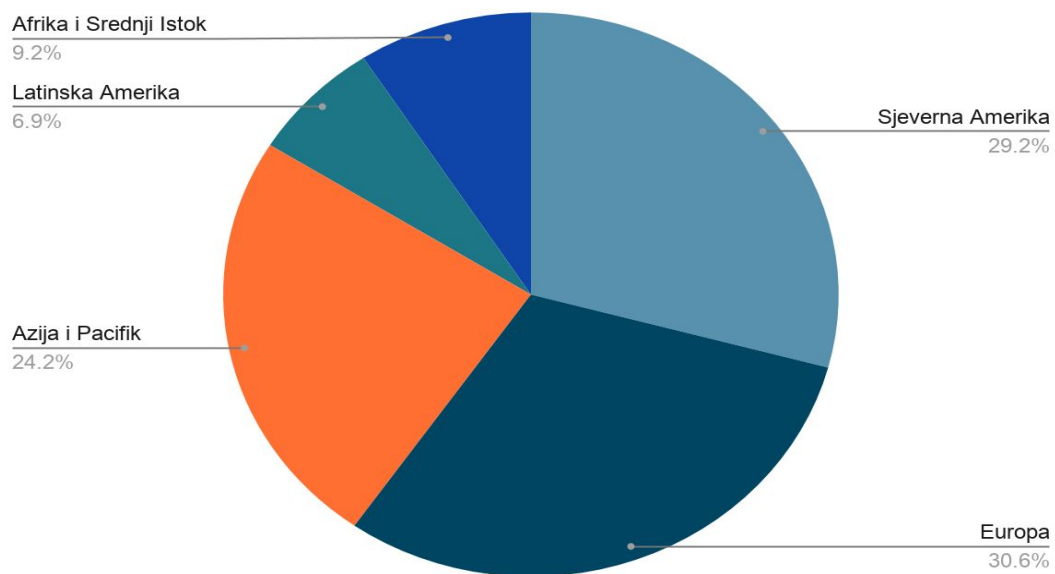
5.3. Primjena interneta stvari u pametnim gradovima

Primjena interneta stvari u pametnim gradovima je u pravilu specifična za svaki grad pojedinačno. Razlog tome velikim dijelom leži u činjenici da različiti gradovi imaju visoke međusobno različite komunalne probleme, što proizlazi iz njihovih različitih socioloških, demografskih, ekonomskih, fizičkih, klimatskih i drugih faktora [46].

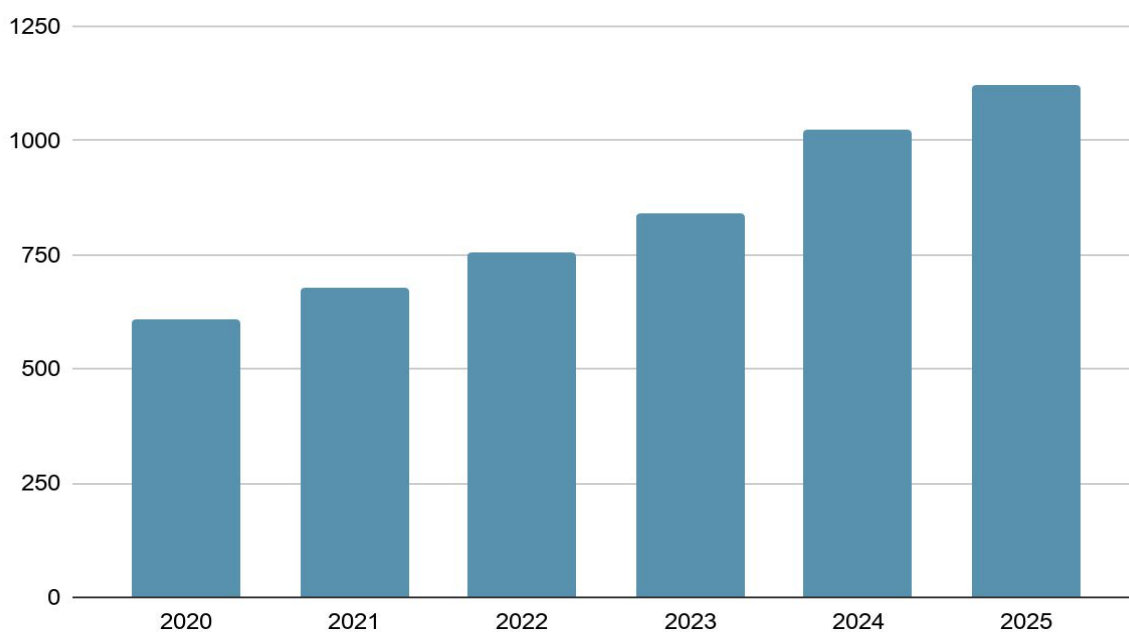
Stoga trenutno postoji proliferacija različitih primjena sustava interneta stvari u pametnim gradovima, od kojih su neke od najznačajnijih:

- Pametni javni prijevoz [21]
- Pametni nadzor i upravljanje vodoopskrbom [46]
- Pametni parking [46]
- Analiza i pametno upravljanje prometom [51]
- Nadzor zagađenosti zraka [46]
- Upravljanje kriznim situacijama [46]
- Široko dostupni pristup internetu [46]
- Pametno upravljanje otpadom [46]
- Energetski učinkovite zgrade [52]
- Pametna javna rasvjeta [53]

U nastavku je priložen i grafički prikaz globalno kretanja vrijednosti tržišta pametnih gradova, podijeljeno na svjetske regije Sjevernu Ameriku, Europu, Aziju i Pacifik, Latinsku Ameriku, te Afriku i Srednji Istok.



Slika 11. Struktura tržišta pametnih gradova stvari s obzirom na regiju, 2018. (Izvor: Autor izradio prema [54])



Slika 12. Globalna potrošnja na projekte pametnih gradova u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [55])

Iz grafa je vidno da se na globalnoj razini očekuje postojan rast ovog segmenta tržišta interneta stvari, te da je implementacija interneta stvari u kontekstu pametnih gradova posebno prisutna u Sjevernoj Americi i Europi. Navedeno je i očekivano s obzirom na to da dotične regije prednjače u bogatstvu i životnom standardu.

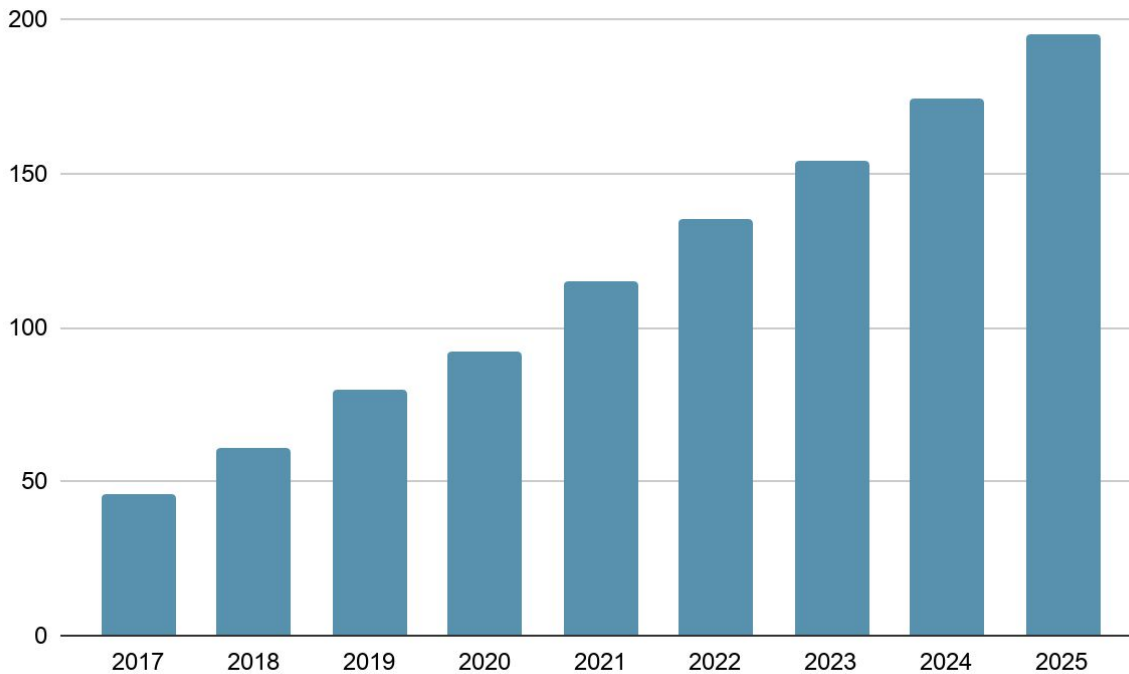
5.4. Primjena interneta stvari u pametnim kućanstvima

Primjena interneta stvari u kontekstu pametnih kućanstava, postaje sve zastupljenija dijelom radi pripadajućeg tehnološkog razvoja, ali značajnim dijelom i radi općeg rasta povjerenja u tehnologije te vrste, što se manifestiralo kroz prethodno desetljeće. U tom kontekstu postoji širok niz proliferiranih mogućnosti primjene interneta stvari, od kojih su najznačajnije [21]:

- Pametni sustav nadzora i sigurnosti
- Automatizacija rada kućanskih aparata
- Praćenje prisutnosti dima i drugih plinova u zraku
- Nadzor nad zdravstvenim parametrima stanara
- Pametni sustav grijanja
- Upravljanje radom pametne kuće na daljinu
- Pametne brave
- Pametno navodnjavanje vrta i kućnog bilja
- Pametni TV

Većina rješenja iz konteksta pametnog kućanstva su usmjerena na podizanje sigurnosti, zabavu i lagodniji život korisnika, te na uštedu energije. Kao najznačajnije izazove, s kojima se susreće većina sustava interneta stvari iz ovog konteksta, su sigurnost i zaštita privatnosti korisnika [21].

U nastavku je priložen grafički prikaz realiziranog i očekivanog kretanja globalne vrijednosti tržišta pametnih kućanstava, za period od 2017 do 2025.



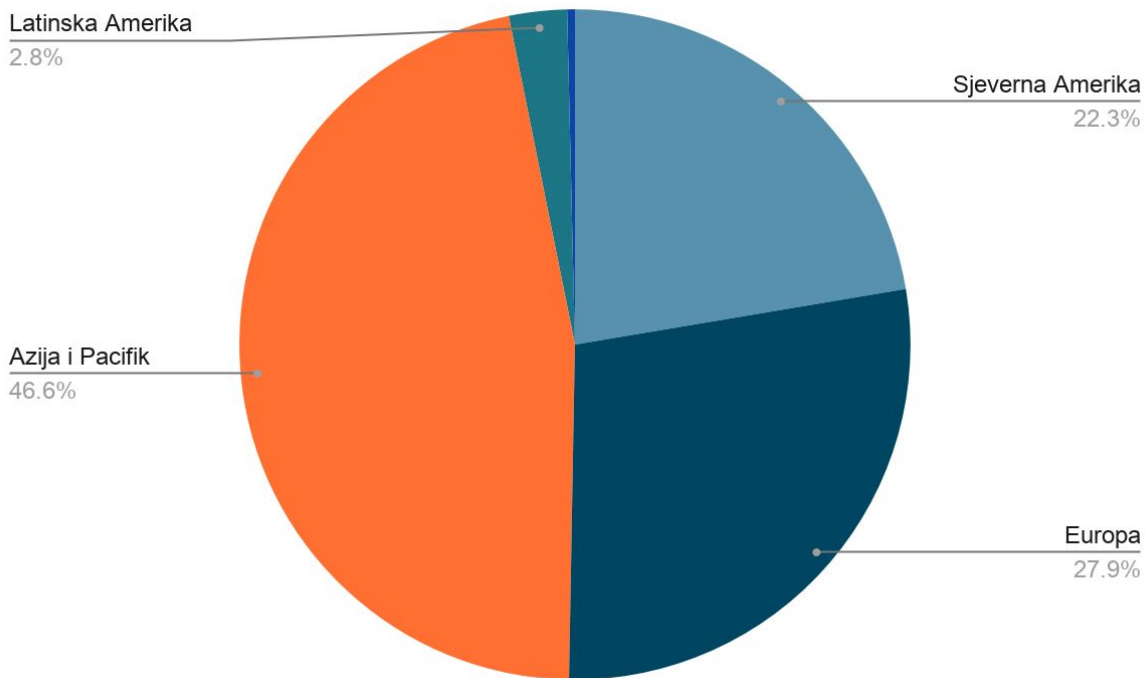
Slika 13. Globalna vrijednost tržišta pametnih kućanstava u milijunima \$ (Izvor: Autor izradio prema [56])

Iz grafa je vidan kontinuirani očekivani rast ovog područja, u kojem prednjače rješenja iz konteksta automatizacije rada kućanskih aparata i sigurnosti.

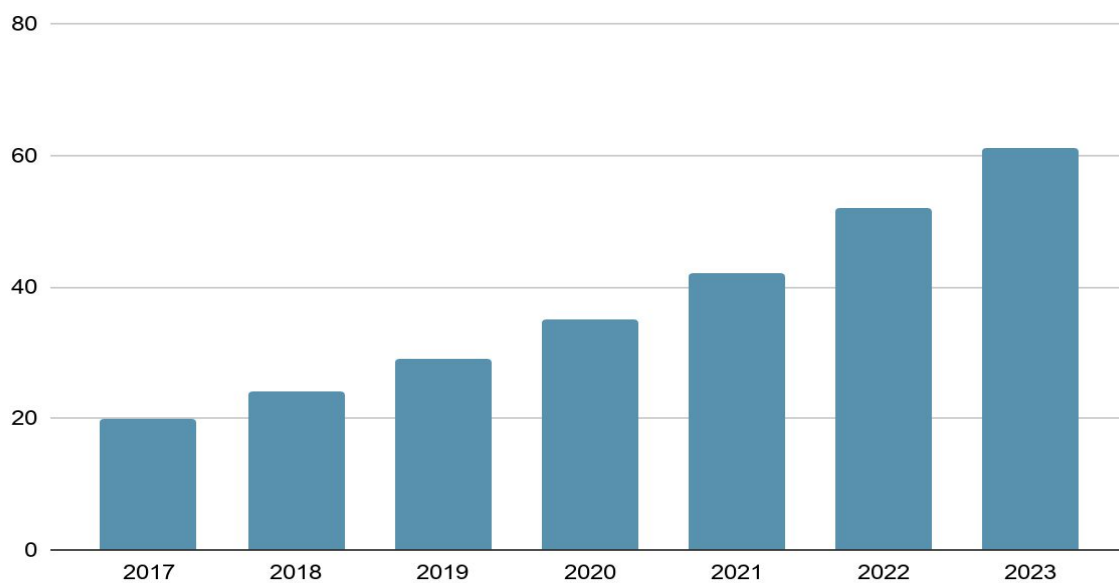
5.5. Primjena interneta stvari u energetici

Primarna primjena interneta stvari u energetici su pametne električne mreže (eng. *smart grid*) i pametni mjerači (eng. *smart meter*). Pametne električne mreže na efikasan način upravljaju tokom struje kroz mrežu, s ciljem postizanja najmanjeg utroška i korištenja energije iz najpovoljniji izvora (npr. obnovljivih). Pametni mjerači imaju za svrhu, u realnom vremenu, korisnika informirati o njegovoj stvarnoj potrošnji u određenom periodu, te kao takvi predstavljaju znatan napredak u odnosu na klasična strujna brojlila.

U nastavku je priložen grafički prikaz realizirane i očekivane vrijednosti globalnog tržišta pametnih električnih mreža za period od 2017 do 2020.



Slika 14. Struktura tržišta pametnih električnih mreža, s obzirom na regiju, 2019 (Izvor: Autor izradio prema [57])



Slika 15. Globalna vrijednost tržišta pametnih električnih mreža u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [58])

Iz grafa je vidan kontinuirani rast vrijednosti ovog tržišta, koji se očekuje i u budućnosti. U tom kontekstu prednjače Azija i Pacifik, u čemu ih slijede Sjeverna Amerika i Europa.

Ostatak svijeta (Latinska Amerika, Afrika i Srednji Istok) su dosta nisko zastupljene, što je dijelom razumljivo i radi relativno loše električne infrastrukture na tim područjima, koja je jednim dijelom preduvjet razvoja ovog tržišta.

5.6. Primjena interneta stvari u agrikulturi

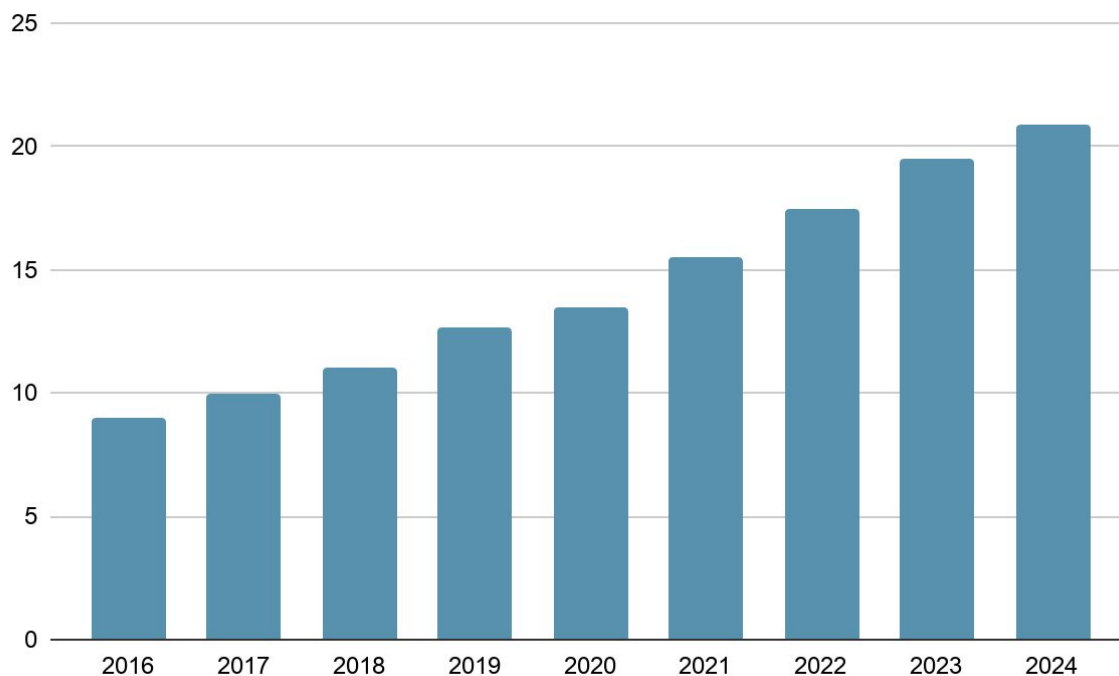
Primjena interneta stvari u agrikulturi se primarno odnosi na mjerenje fizičkih varijabli u okolini (temperatura, vlažnost, tlak i sl) gdje se odvija agrikulturna proizvodnja i automatizacija određenih operacija nad uzgajanim biljkama. Shodno s time, u kontekstu agrikulturnih sustava interneta stvari prednjače pametni staklenici [21].

Uz navedenu primjenu, sustavi interneta stvari se koriste i u drugim segmentima agrikulturne proizvodnje, gdje se ističu [59]:

- Precizni uzgoj (eng. *precise farming*)
 - Podrazumijeva detaljni nadzor nad svim varijablama relevantnim za proces uzgoja, što daje mnogo veću kontrolu nad procesom uzgoja
- Agrikulturni dronovi
 - Koriste se za niz radnji poput nadzora usjeva, oprašivanja, sijanja, analize tla i sl
- Nadzor stoke
 - Podrazumijeva praćenje varijable stanja životinjskih jedinki koje se uzgajaju, gdje su senzori u pravilu “ugrađeni” na dotičnu jedinku. Na temelju tih podataka može se lakše predvidjeti njihovo oboljenje, plodnost, ponašanje i sl.

Rješenja iz ove domene primjene interneta stvari znatno pojeftinjuju, olakšavaju i pospješuju uzgoj raznih vrsta biljaka i životinja, pogotovo na područjima koja ranije za to nisu bila pogodna, što postaje sve važnije u slijed klimatskih promjena koje su zahvatile gotovo cijelu Zemlju [60].

U nastavku je priložen grafički prikaz kretanja vrijednosti tržišta interneta stvari u agrikulturi.



Slika 16. Globalna vrijednost tržišta interneta stvari u agrikulturi u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [61])

Iz grafa je vidno da se procjenjuje linearan rast ovog tržišta u budućnosti, doduše nešto manji nego u ranije navedenim domenama.

5.7. Ostala područja primjene interneta stvari

Uz navedene primjene, sustavi interneta stvari nalaze primjenu u još jako širokom spektru domena, te je neizvjesno koja će od tih domena u budućnosti postati značajnije zastupljena. Iako bi za puno nabranje niz bio veoma dugačak, kao neke od tih domena još možemo spomenuti [14]:

- Pametne trgovine
- Pametni pokretni uređaji (satovi, narukvice, naočale, automobili i sl)
- Pametni uredi
- Razne primjene u edukaciji (prema [13])

6. Utjecaj i budući trendovi interneta stvari

S obzirom na to da sustavi interneta stvari postaju sve više prisutni na širok niz načina, u životima mnogih stanovnika Zapadnog svijeta, može se zaključiti da je utjecaj razvoja područja interneta stvari na čovječanstvo izuzetno složen i višedimenzionalan. Kada se uzme u obzir da svih njegovih efekata još nismo ni svjesni, pošto se manifestiraju kroz niz implicitnih aspekata i pošto se dešavaju upravo sada pa još nisu ni dovoljno istraženi, također se može reći da je taj utjecaj trenutno još uvijek relativno neizvjestan i nejasan.

Slično se može reći i za pitanje budućih trendova područja interneta stvari.

Stoga su u nastavku prezentirani neki od uočenih obrazaca utjecaja razvoja i primjene tog područja na neke od važnijih makroekonomskih varijabli i općenito na rad poslovnih organizacija.

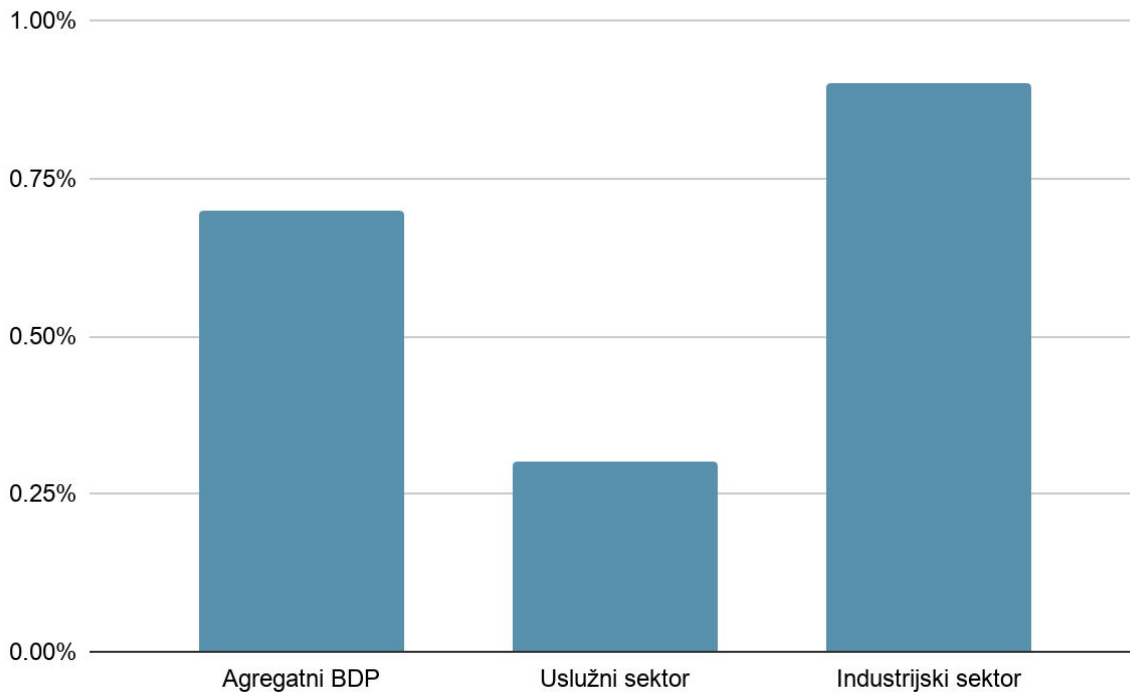
Također su predstavljeni i neki od uočenih trendova koji se mogu očekivati u budućnosti interneta stvari.

Ipak, treba imati na umu da su prezentirani podaci samo dio "šire slike" te bi svaki zaključak koji se donese na temelju njih trebalo uzeti sa zadržkom.

6.1. Utjecaj interneta stvari na gospodarski rast

Utjecaj primjene sustava interneta stvari na gospodarstvo se najbolje općenito mjeri putem analize njegovog utjecaja na stopu i strukturu rasta BDP - a.

U tom kontekstu istraživanja provedena nad njemačkim i američkim gospodarstvom ukazuju na pozitivnu vezu između rasta primjene sustava interneta stvari i rasta BDP - a te zemlje. Preciznije, uočeno je da porast broja M2M konekcija (koje indiciraju razinu primjene sustava interneta stvari u nekom gospodarstvu) od 10%, dovodi do porasta ukupnog BDP - a za 0.7%, odnosno 0.3% u domeni usluga, a 0.9% u domeni industrije [17]. Na slici u nastavku to je i grafički prikazano.



Slika 17. Utjecaj rasta od 10% M2M konekcija na rast gospodarskih varijabli (Izvor: Autor izradio prema [17])

Također je uočeno da taj utjecaj nije jednak u svakoj zemlji, te da se pozitivni učinci značajnije manifestiraju u razvijenim zemljama [45]. Drugim riječima, razina koliko se internet stvari može integrirati u gospodarstvo neke zemlje ovisi o četiri skupa varijabli [17]:

- Poslovne varijable
 - Podrazumijevaju faktore koji osiguravaju osnovne resurse za pokretanje i provedbu projekata razvoja i implementacije sustava interneta stvari. U njih, uz ostale, spadaju nacionalna gospodarska strategija, regulacija tržišnog natjecanja, pokrivenost 5G mrežom i sl.
- Varijable pokretanja
 - Podrazumijevaju faktore koji omogućavaju transformaciju tehnoloških mogućnosti u primjenjive i korisne aplikacije i servise. U njih, uz ostale, spada poticanje države aktivnostima istraživanjima i razvoja, regulacija zaštite intelektualnog vlasništva i sl.
- Varijable transfera
 - Podrazumijevaju faktore koji olakšavaju da tehnologija interneta stvari postane što više integrirana u gospodarstvo, tako da mijenja standardne

prakse i ponašanja poslovnih organizacija, potrošača i društva općenito. U njih, uz ostale, spadaju regulacija zaštite podataka i privatnost standardi interoperabilnosti u području interneta stvari

- Varijable inovacije
 - Podrazumijevaju faktore koji olakšavaju da se razvijaju korisna, samoodrživa, međusobno komplementarna rješenja iz konteksta interneta stvari. U njih, uz ostale, spada prisustvo inovacijskih klastera u nekom gospodarstvu, državno poticanje inoviranja i sl.

6.2. Utjecaj interneta stvari na tržište rada

Utjecaj primjene sustava interneta stvari na tržište rada je dvosmjernan. Predviđa se da će tijekom četvrte industrijske revolucije doći i do značajnih padova broja određenih poslova, u koje se primarno ubrajaju repetitivni, nisko kvalificirani poslovi, koji se mogu znatno efikasnije i kvalitetnije obavljati putem sustava interneta stvari [62]. S druge strane, očekuje se i da će biti stvoren značajan broj novih poslova, primarno na području razvoja i primjene novih tehnologija [63].

Neki od poslova koji bi mogli nastati ili postati popularni u bliskoj budućnosti, navedeni su u nastavku [64]:

- Tehnolog u agrikulturi
- Inženjer 3D printanja
- Inženjer pametnih električnih mreža
- Dizajner pametnih odjevnih predmeta
- Dizajner medicinskih robota
- Ekspert za sigurnost podataka
- Specijalist za računarstvo u oblaku
- Specijalist za elektroničnu forenziku
- Dizajner intermodalnog transporta
- Hakeri bijelog šešira (eng. *white hat hackers*)

Također se očekuje da bi velik broj poslova mogao, na razne načine, biti modificiran promjenama.

6.3. Utjecaj interneta stvari na poslovne organizacije

S obzirom na to da su poslovne organizacije prisutne u gotovo svim domenama primjene interneta stvari, utjecaj razvoja i primjene tog područja na suvremene poslovne prakse veoma je složen i višedimenzionalan. Stoga su u nastavku navedeni i kratko opisani ključni trendovi uočeni u tom kontekstu [65].

Bolji uvid u poslovanje i ponašanje potrošača

S obzirom na jako visoke količine operativnih podataka o poslovnim procesima i kupcima, koji se prikupljaju iz različitih senzora, organizacije mogu imati detaljan uvid u stanje svog poslovanja, poziciju i status određene stavke imovine koja se kreće kroz organizacijske poslovne procese, te odluke donositi na temelju točnih podataka, umjesto procjena. Također je moguć detaljan uvid u ponašanje klijenata organizacije, što omogućuje značajan napredak u pogledu marketinške strategije i prilagodbe klijentima.

Niži troškovi, veća produktivnost i kraći zastoji

Implementacija sustava interneta stvari je u nizu aspekata poslovanja dovela do znatnih ušteda u pogledu resursne efikasnosti, produktivnosti, ali i u pogledu preciznijeg dijagnosticiranja i predviđanja na strojevima određene organizacije. Potonje dovodi do znatno kraćih zastoja uzrokovanih tehničkim kvarom. To se pogotovo manifestira u proizvodnim organizacijama.

Novi poslovni modeli

Uz navedene operativne i taktičke prednosti koje primjena sustava interneta stvari otvara poslovnim organizacijama, također se stvara i strateška opcija da se na temelju primjene novih tehnologija u srži promjene poslovni procesi organizacije, odnosno da se neki aspekt njenog poslovanja (ili cijelo poslovanje) postavi na skroz nov način.

6.4. Budući trendovi interneta stvari

S obzirom na to da je i sam trenutni utjecaj interneta stvari dosta teško u potpunosti spoznati, slično vrijedi i za prognozu budućih trendove ovog područja. Stoga su u nastavku navedeni neki od važnijih smjerova razvoja ovog područja, koji su se već dijelom manifestirali i očekuje se njihova amplifikacija u budućnosti. Ipak, treba imati na umu da je to samo dio šire slike i svaki zaključak o ovoj problematici treba donijeti sa zadržkom.

- Rast zastupljenosti rubno - centričnih sustava [66]
- Evolucija iz tehnološkog eksperimenta u strateški imperativ, za mnoge organizacije i društva [67]
- Integracija umjetne inteligencije i strojnog učenja u sustave interneta stvari [68]
- Veća integracija sigurnosnih mehanizama u kućne rutere [68]
- Rast primjene blockchain tehnologija u sustavima interneta stvari [69]
- Integracija proširene stvarnosti i sustava interneta stvari [69]
- Rast važnosti adresiranja pitanja sigurnosti sustava interneta stvari [69]
- Rast zastupljenosti mogućnosti globalnog pristupa i upravljanja različitim predmetima i sustavima [69]
- Razvoj područja podatkovne analitike [69]
- Jačanje fokusa na industrijskom internetu stvari, kao potpodručju s najviše potencijala [69]
- Rast popularnosti koncepta pametnog kućanstva [69]
- Rast broja pametnih gradova [69]
- Produženje očekivanog životnog vijeka u državama koje kvalitetno implementiraju sustave medicinskog interneta stvari [69]
- Rast globalne efikasnosti korištenja resursa i energije planeta Zemlje [69]
- Razvoj područja računarstva u oblaku [69]

7. Prototip sustava pametnog kućanstva

Za potrebe ovog rada izrađen je prototip sustava pametnog kućanstva, koji obuhvaća funkcionalnosti (1) nadzora razine ugljičnog monoksida u zraku i (2) pametnog upravljanja sobnom rasvjetom. Funkcionalnosti su realizirane putem oblako - centrične arhitekture, s centralnom upravljačkom jedinicom implementiranom preko IFTTT apleta integriranog s Google Assistant i ThingSpeak servisima, dok su periferni uređaji implementirani pomoću pripadajućih mikrokontrolera (s Wi - Fi modulom), senzora i aktuatora.

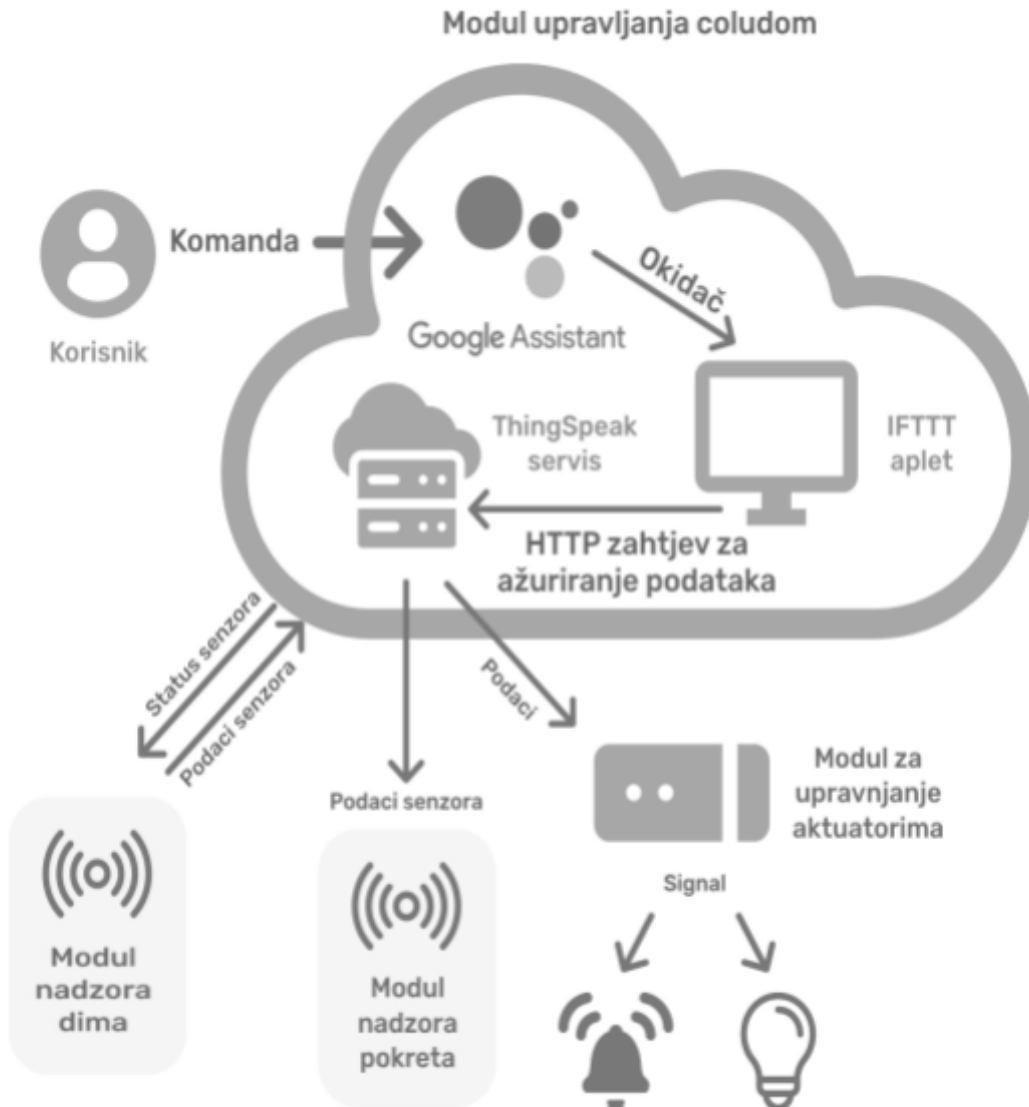
Pošto se radi o prototipu, primarna namjena sustava je pružanje oglednog primjera načina funkcioniranja i potencijala primjene interneta stvari u kontekstu pametnog kućanstva, te kao takav nije "spreman" za korisničku upotrebu u punom smislu riječi.

Sustav se sastoji od sljedećih komponenti:

- Google Assistant
 - Predstavlja virtualnog assistenta s umjetnom inteligencijom, putem kojeg korisnik glasovno daje naredbe vezane za rad sustava. Dio je upravljačkog modula.
- IFTTT apleti
 - Predstavlja web uslugu koja omogućava izradu stvaranje apleta s lancima uvjetnih akcija potaknutih promjenama koje se događaju na drugim web uslugama, u ovom konkretnom slučaju Google Assistantu. Dio je upravljačkog modula.
- ThingSpeak servisi
 - Predstavlja skup podataka i pripadajućih web servis otvorenog koda, namijenjen pohrani i preuzimanju podataka putem HTTP i MQTT protokola, potrebnih za rad sustava interneta stvari. Drugim riječima, implementira podatkovni sloj sustava i dio je upravljačkog modula.
- Modul nadzora dima
 - Podrazumijeva podsustav s mikrokontrolerom koji uključuje i Wi - Fi modul, te pripadajućim senzorom razine ugljičnog monoksida u zraku. Nalazi se na periferiji mreže.
- Modul nadzora pokreta
 - Podrazumijeva podsustav s mikrokontrolerom koji uključuje i Wi - Fi modul, te pripadajuća tri senzora pokreta. Nalazi se na periferiji mreže.

- Modul za upravljanje aktuatorima
 - Podrazumijeva podsustav s mikrokontrolerom koji uključuje i Wi - Fi modul, te pripadajući relej za kontrolu paljenja svjetla, te zvučnik i LED lampicu koji djeluju kao alarmni sustav. Nalazi se na periferiji mreže.

U nastavku je grafički prikazana osnovna arhitektura izrađenog sustava.



Slika 18. Arhitektura prototipa sustava pametnog kućanstva (Izvor: Autor izradio)

7.1. Upravljački modul

Upravljački modul se sastoji od (1) ThingSpeak servisa koji implementira podatkovni sloj sustava, (2) Google Assistant glasovnog sučelja prema korisniku, te (3) IFTTT apleta koji na temelju korisnikovih glasovnih naredbi u Google Assistant šalje odgovarajuće HTTP zahtjeve, putem kojih ažurira konfiguracijske podatke sustava na ThingSpeak web servisima.

7.1.1. ThingSpeak web servisi

Na servisu ThingSpeak su kreirana četiri podatkovna kanala, koja se koriste za podršku radu odgovarajućih komponenti sustava:

Smoke Sensor Status

Obuhvaća konfiguracijske podatke vezane za rad modula nadzora dima, konkretno njegov status (da li je aktivan ili neaktivan) i maksimalnu prihvatljivu razinu ugljičnog monoksida u zraku.

Podaci zapisani u kanalu, dostupni su u JSON formatu na sljedećem URL - u: https://api.thingspeak.com/channels/1189072/feeds.json?api_key=31AIFTXDB7583BP0

Air Quality Log

Obuhvaća zapise o razini ugljičnog monoksida u zraku, prikupljene u realnom vremenu kroz senzor modula nadzora dima.

Podaci zapisani u kanalu, dostupni su u JSON formatu na sljedećem URL - u: https://api.thingspeak.com/channels/1199842/feeds.json?api_key=OWAJG6IJS9ZVTXO2

Room Light Status

Obuhvaća konfiguracijski podatak o statusu rasvjete u sobi, odnosno da li svjetlo treba biti upaljeno ili ne.

Podaci zapisani u kanalu, dostupni su u JSON formatu na sljedećem URL - u: https://api.thingspeak.com/channels/1199845/feeds.json?api_key=1F4CJVZV752JQG39

Room Occupancy

Obuhvaća podatak o tome da li je soba prazna ili zauzeta, na temelju kojeg se odgovarajuće pali i gasi rasvjeta.

Podaci zapisani u kanalu, dostupni su u JSON formatu na sljedećem URL - u: https://api.thingspeak.com/channels/1199848/feeds.json?api_key=MAJLJ1EOJJ1BLP5F

Uz priložene web servise za čitanje podataka, ThingSpeak odgovarajuće implementira web servise i za druge CRUD operacije nad navedenim podacima.

7.1.2. Google Assistant i IFTTT apleti

Preko Google Assistanta korisnik šalje glasovne naredbe sustavu, vezane za njegov rad i konfiguraciju, koje se posredstvom IFTTT apleta transponiraju u odgovarajuće HTTP zahtjeve i šalju na ThingSpeak web servise. Tako je moguće konfigurirati aktivnost modula nadzora dima, odrediti maksimalnu prihvatljivu razinu ugljičnog monoksida u zraku, te upravljati paljenjem sobne rasvjete.

Za te potrebe su razvijena tri IFTTT apleta:

Room Light Management

Aplet na temelju korisnikove glasovne naredbe u Google Assistant, šalje odgovarajući HTTP zahtjev na ThingSpeak web servise, koji postavlja sobnu rasvjetu u status uključenosti ili isključenosti.

Snimka zaslona specifikacije apleta se nalazi u nastavku.

What do you want to say?

Set bedroom light \$

Enter a \$ where you'll say the text ingredient

What's another way to say it? (optional)

Bedroom light \$

Enter a \$ where you'll say the text ingredient

And another way? (optional)

Bedroom lights \$

Enter a \$ where you'll say the text ingredient


What do you want the Assistant to say in response?

Done chief. Bedroom light is set \$

You can enter a \$ where you want to hear the text ingredient in the response

Language

English ▼

 **Make a web request**

This action will make a web request to a publicly accessible URL. NOTE: Requests may be rate limited.

URL

**http://api.thingspeak.com/update?
api_key=IWKNU5PCKUQ41ZRJ&field1=
TextField**

Slika 19. Specifikacija IFTTT apleta Room Light Management (Izvor: Autor izradio)

Gas Sensor Status

Aplet na temelju korisnikove glasovne naredbe u Google Assistant, šalje odgovarajući HTTP zahtjev na ThingSpeak web servise, koji postavlja status modula za nadzor dima u stanje aktivnosti ili neaktivnosti.

Snimka zaslona specifikacije apleta se nalazi u nastavku.

What do you want to say?

Set smoke sensor \$

Enter a \$ where you'll say the text ingredient

What's another way to say it? (optional)

Gas sensor \$

Enter a \$ where you'll say the text ingredient

And another way? (optional)

Smoke sensor \$

Enter a \$ where you'll say the text ingredient

What do you want the Assistant to say in response?

Done chief. Smoke sensor set to \$

You can enter a \$ where you want to hear the text ingredient in the response

Language

English



Make a web request

This action will make a web request to a publicly accessible URL. NOTE: Requests may be rate limited.

URL

`http://api.thingspeak.com/update?
api_key=6CT0F24KLMG5IT0N&field1=
TextField`

Slika 20. Specifikacija IFTTT apleta Gas Sensor Status (Izvor: Autor izradio)

Max Acceptable CO Level

Aplet na temelju korisnikove glasovne naredbe u Google Assistant, šalje odgovarajući HTTP zahtjev na ThingSpeak web servise, koji ažurira vrijednost maksimalno prihvatljive razine ugljičnog monoksida u zraku koji se nadzire. Vrijednost se prikazuje u kroz varijablu broja čestica na milijun čestica zraka (eng. *parts per million, PPM*).

Snimka zaslona specifikacije apleta se nalazi u nastavku.

What do you want to say?

Set acceptable carbon monoxide level at #

Enter a # where you'll say the number ingredient

What's another way to say it? (optional)

Acceptable carbon monoxide on #

Enter a # where you'll say the number ingredient

And another way? (optional)

Acceptable carbon monoxide at #

Enter a # where you'll say the number ingredient


What do you want the Assistant to say in response?

Ok chief. Acceptable carbon monoxide level is at #

You can enter a # where you want to hear the number in the response

Language

English ▼

 **Make a web request**

This action will make a web request to a publicly accessible URL. NOTE: Requests may be rate limited.

URL

**http://api.thingspeak.com/update?
api_key=6CT0F24KLMG5IT0N&field2=
NumberField**

Slika 21. Specifikacija IFTTT apleta Max Acceptable CO Level (Izvor: Autor izradio)

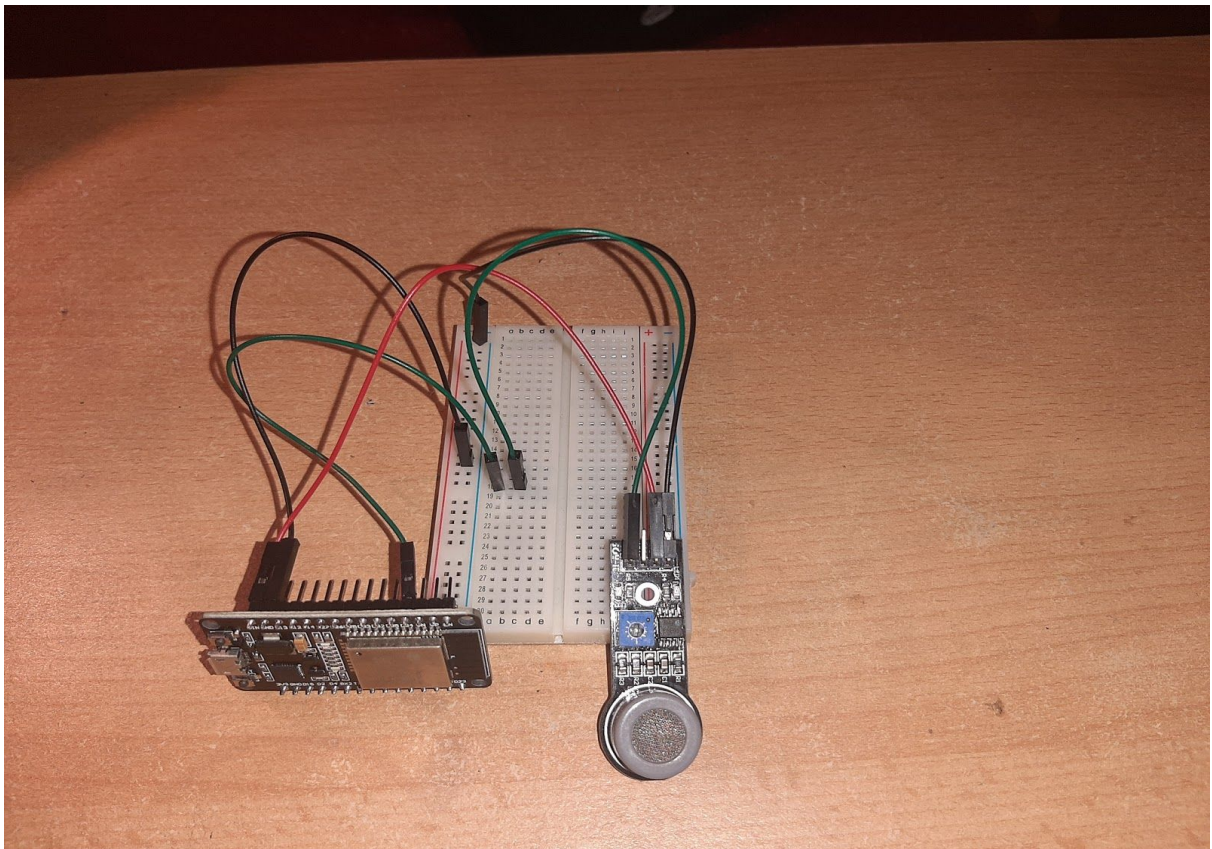
7.2. Modul nadzora dima

Modul nadzora dima (eng. *Smoke Sensing Module*) obavlja funkciju prikupljanja podataka o razini ugljičnog monoksida u zraku, te ju sprema u odgovarajući ThingSpeak podatkovni kanal. Modul se fizički sastoji od:

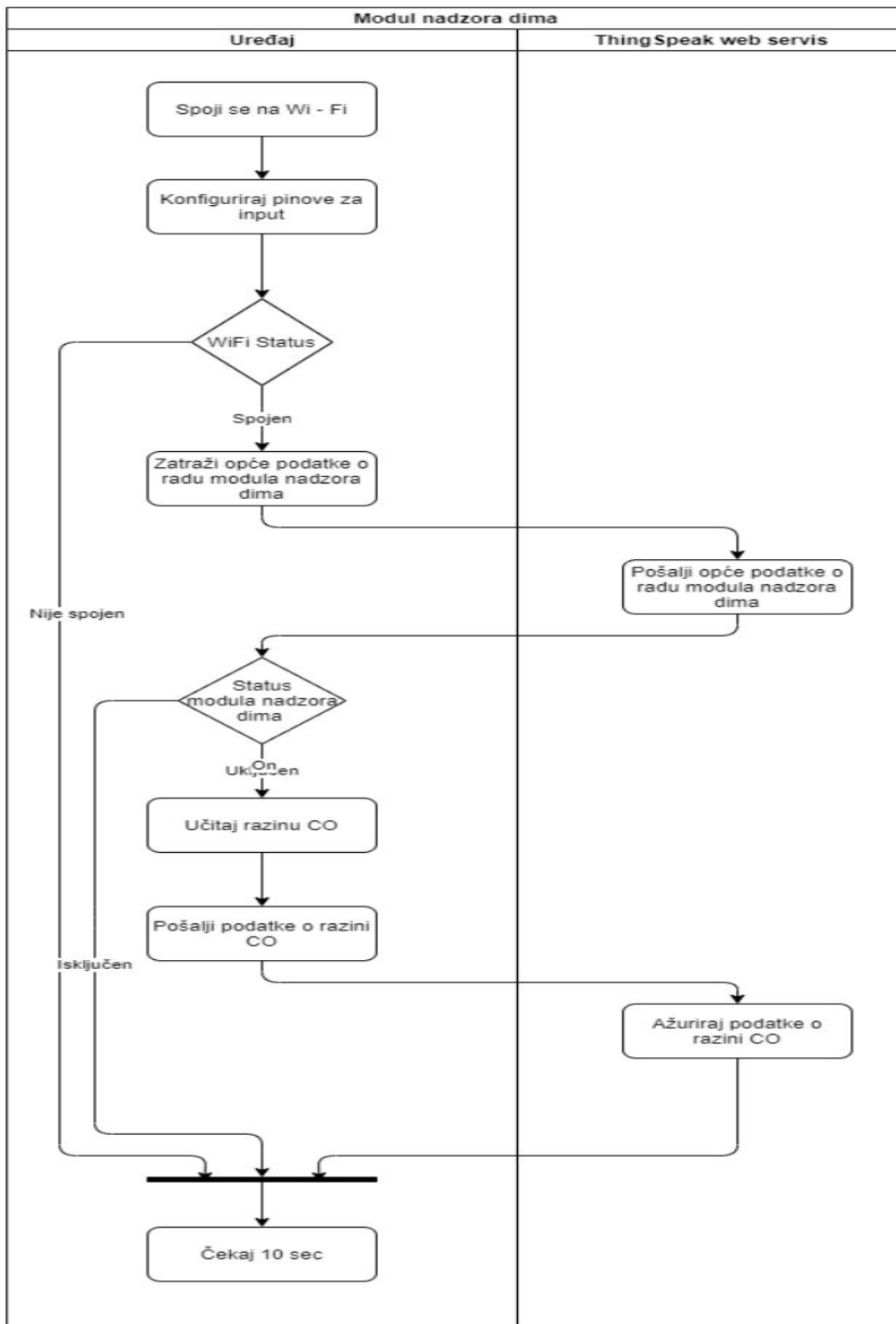
- ESP32 mikrokontrolera (koji posjeduje svoj modul za spajanje na Wi - Fi)
- MQ - 7 senzora ugljičnog monoksida

- eksperimentalne pločice (eng. *breadboard*)
- skupa žica

U nastavku je priložena fotografija, programski kod mikrokontrolera i UML dijagram aktivnosti ovog modula.



Slika 22. Modul nadzora dima (Izvor: Autor izradio)



Slika 23. UML dijagram aktivnosti modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)

```

#include <ArduinoJson.h>
#include <WiFi.h>
#include <HttpClient.h>

const char* ssid = "";
const char* password = "";

HttpClient http;
String payload;

String sensorStatusApi =
"http://api.thingspeak.com/channels/1189072/fields/1.json?api_key=31AIFTXDB7583BF0";
String coLevelUpdateApi =
"http://api.thingspeak.com/update?api_key=YFIW1E3ZEW1VGOFc&field1=";

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.println("Connecting");
  while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.print("Connected to WiFi network with IP Address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  pinMode(34, INPUT);
}

void loop() {
  if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
    http.begin(sensorStatusApi.c_str());

    int httpResponseCode = http.GET();

    if (httpResponseCode > 0) {
      Serial.print("HTTP Response code: ");
      Serial.println(httpResponseCode);
      payload = http.getString();

      DynamicJsonDocument doc(2048);
      deserializeJson(doc, payload);

      JsonArray feeds = doc["feeds"];

      int index = feeds.size() - 1;

      for(int i = index; i >= 0 ; i--){
        String sensor_active = feeds[i]["field1"];
        sensor_active.trim();

        if(sensor_active.equals("on")){
          Serial.println("Smoke sensor is on. Starting measuring
iteration.");
          int coLevel = analogRead(34);
          String requestUrl = coLevelUpdateApi + String(coLevel);

          http.end();
          http.begin(requestUrl.c_str());
          httpResponseCode = http.GET();

          if(httpResponseCode > 0){
            Serial.print("CO level updated. Value: ");
            Serial.println(coLevel);
          }else{
            Serial.print("Error ocured during CO level update. HTTP response code:
");
            Serial.println(httpResponseCode);
          }
        }
      }
    }
  }
}

```



```

        }
        break;
    }else if(sensor_active.equals("off")){
        Serial.println("Smoke sensor is off");
        break;
    }else{
        Serial.print("Sensor status invalid value: ");
        Serial.println(sensor_active);
    }
}
}
else {
    Serial.print("Error code: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
}
http.end();
delay(10000);
}
}

```

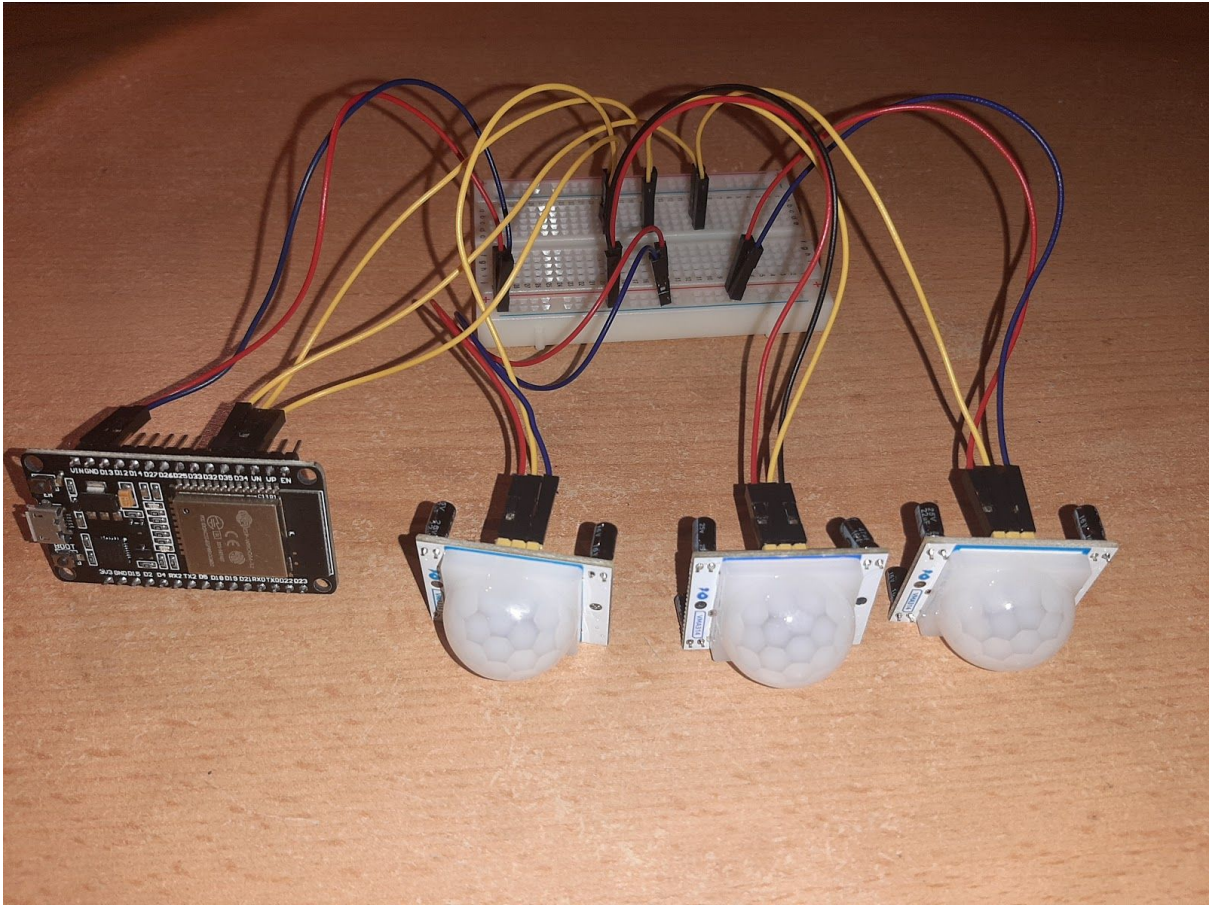
Slika 24. Programski kod mikrokontrolera modula nadzora dima (Izvor: Autor izradio)

7.3. Modul nadzora pokreta

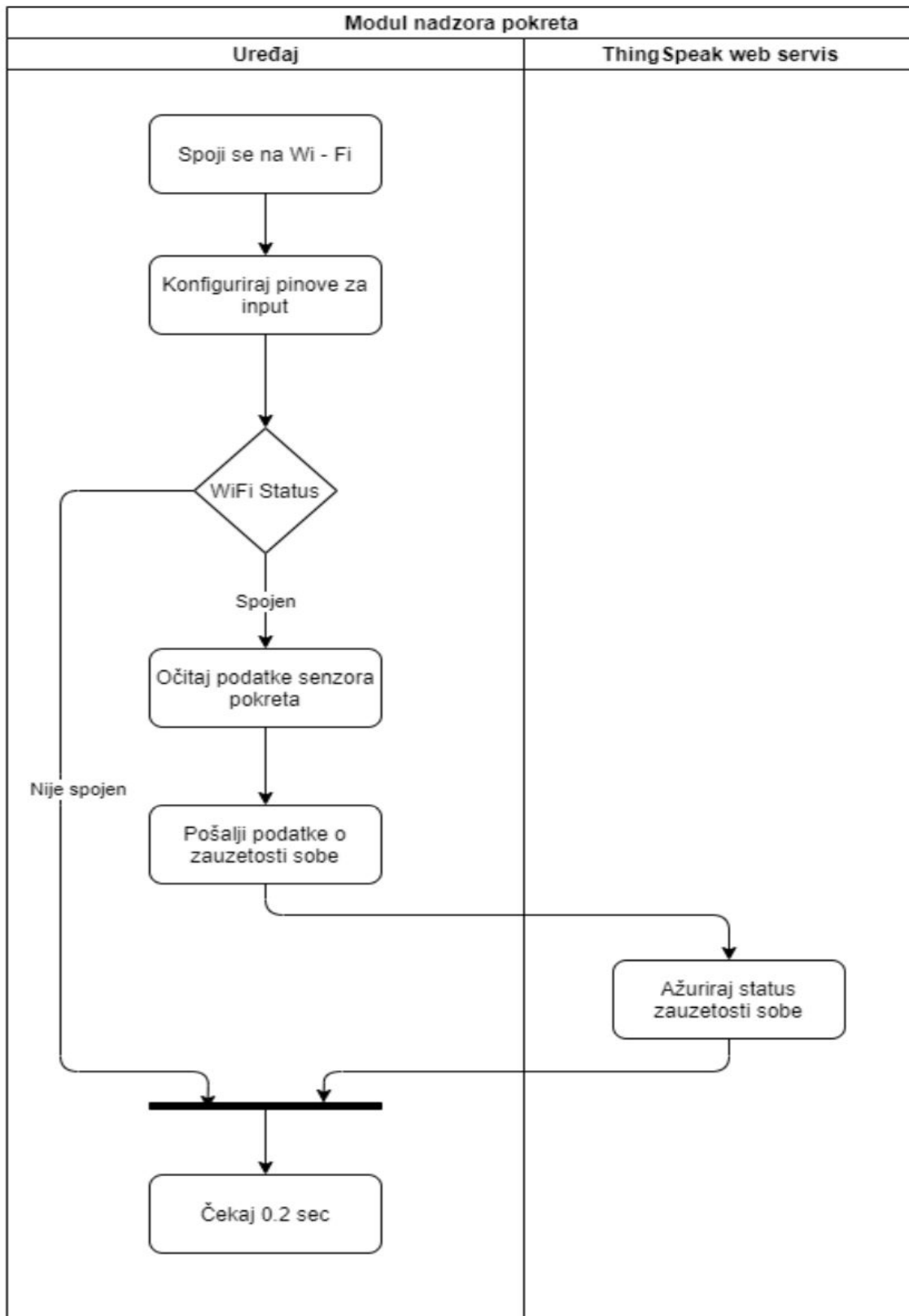
Modul nadzora pokreta (eng. *Move Sensing Module*) obavlja funkciju nadzora prisustva osoba u prostoriji, na temelju čega odgovarajuće ažurira pripadajući ThingSpeak podatkovni kanal. Modul se fizički sastoji od:

- ESP32 mikrokontrolera (koji posjeduje svoj modul za spajanje na Wi - Fi)
- 3 senzora pokreta serije PIR (koji se trebaju adekvatno rasporediti po prostoriji da “pokriju” cijeli prostor)
- eksperimentalne pločice
- skupa žica

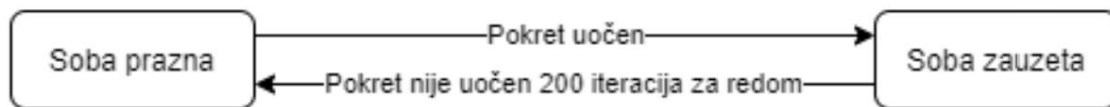
U nastavku je priložena fotografija, programski kod mikrokontrolera i UML dijagram aktivnosti i dijagram strojeva stanja ovog modula.



Slika 25. Modul nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)



Slika 26. UML dijagram aktivnosti modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)



Slika 27. UML dijagram strojeva stanja modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)

```

#include <ArduinoJson.h>
#include <WiFi.h>
#include <HttpClient.h>

const char* ssid = "";
const char* password = "";

HttpClient http;
int httpResponseCode;

String bedroomOccupiedApi =
"http://api.thingspeak.com/update?api_key=3VKD465UUEGQP7N&field1=true";
String beedroomEmptyApi =
"http://api.thingspeak.com/update?api_key=3VKD465UUEGQP7N&field1=false";

const int sensor_00 = 34;
const int sensor_01 = 35;
const int sensor_02 = 32;

int val_00 = 0;
int val_01 = 0;
int val_02 = 0;

int state = LOW;
int counter = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  WiFi.begin(ssid, password);

  Serial.println("Connecting");
  
```

```

while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.print("Connected to WiFi network with IP Address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

pinMode(sensor_00, INPUT);
pinMode(sensor_01, INPUT);
pinMode(sensor_02, INPUT);
}

void loop() {
    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
        val_00 = digitalRead(sensor_00);
        val_01 = digitalRead(sensor_01);
        val_02 = digitalRead(sensor_02);

        if(val_00 == HIGH || val_01 == HIGH || val_02 == HIGH){
            if(state == LOW){
                Serial.println("Motion detected");
                state = HIGH;
                http.begin(browserOccupiedApi);
                httpResponseCode = http.GET();
                if(httpResponseCode > 0){
                    Serial.println("Bedroom occupation set to occupied. ");
                }else{
                    Serial.print("Error occured during bedroom occupation update. Code: ");
                    Serial.println(httpResponseCode);
                    Serial.print("Error text: ");
                    Serial.println(http.errorToString(httpResponseCode));
                }
            }
        }
    }else{

```

```

//Motion not detected

if(state == HIGH){

    Serial.println("Motion stopped");

    state = LOW;

    counter = 0;

}

if(counter == 200){

    http.begin(beedroomEmptyApi);

    httpResponseCode = http.GET();

    if(httpResponseCode > 0){

        Serial.println("Bedroom occupation set to empty.");

    }else{

        Serial.print("Error occured during bedroom occupation update. Code: ");

        Serial.println(httpResponseCode);

    }

}

counter++;

}

}

delay(200);

}

```

Slika 28. Programski kod mikrokontrolera modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)

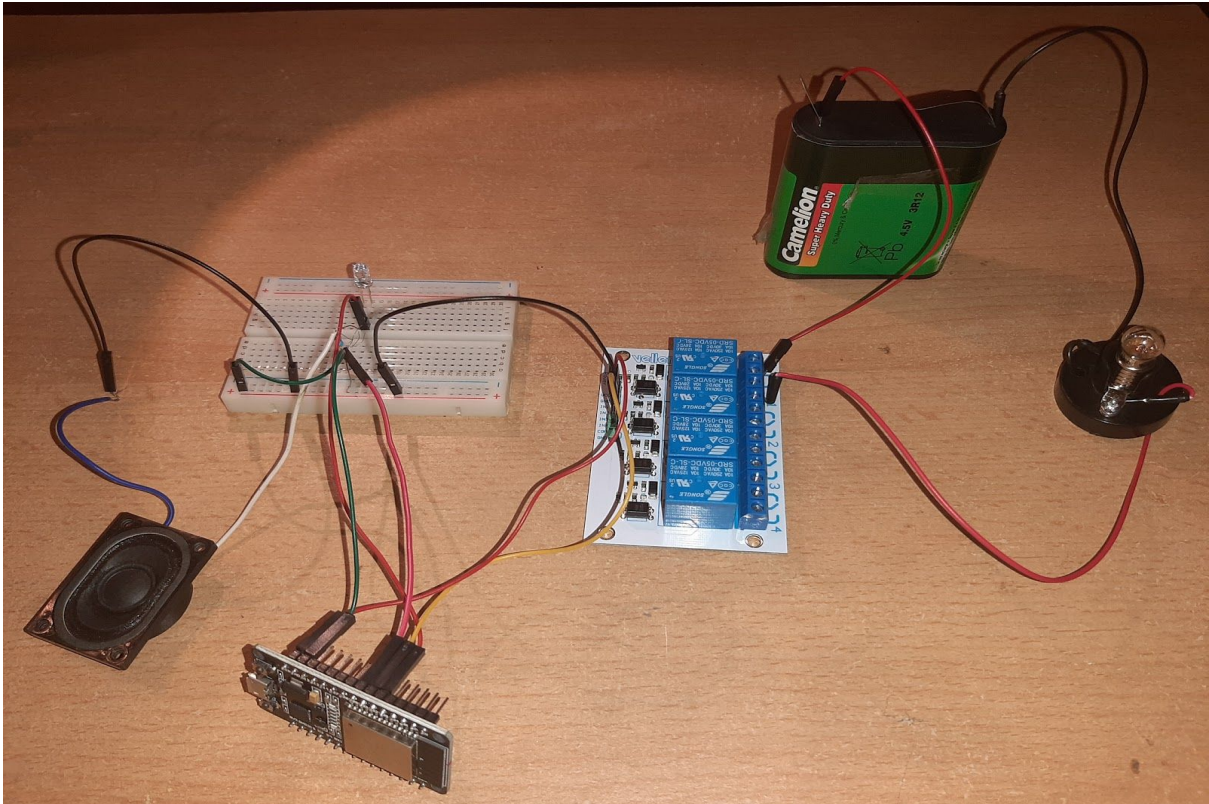
7.4. Modul za upravljanje aktuatorima

Modul za upravljanje aktuatorima (eng. *Actuator Management Module*) obavlja funkcije aktiviranja i isključivanja aktuatora, odnosno rasvjete i alarmnog sustava. Modul se fizički sastoji od:

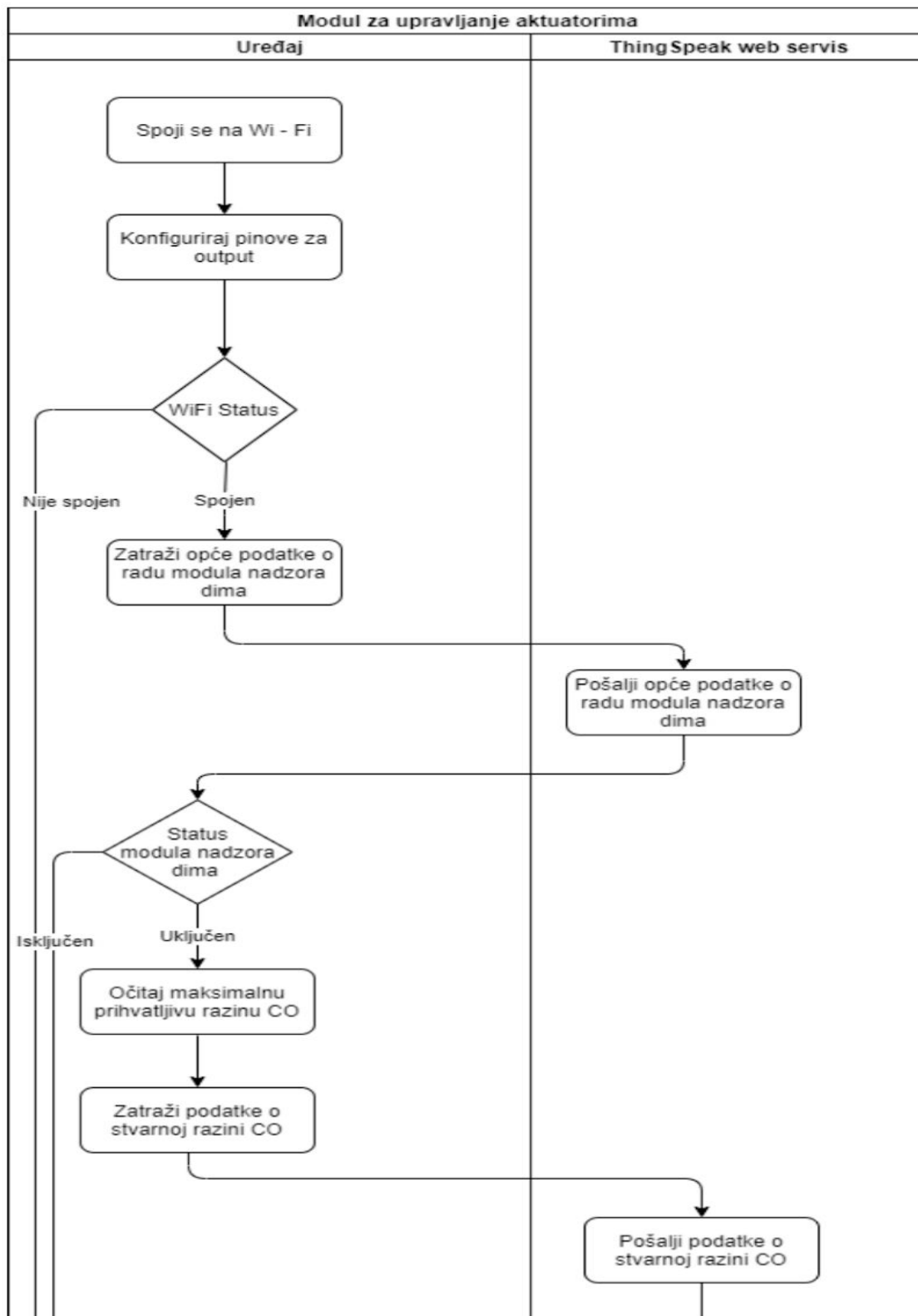
- ESP32 mikrokontrolera (koji posjeduje svoj modul za spajanje na Wi - Fi)
- alarmne LED lampice
- alarmnog zvučnika
- 4 kanalnog relej modula za Arduino

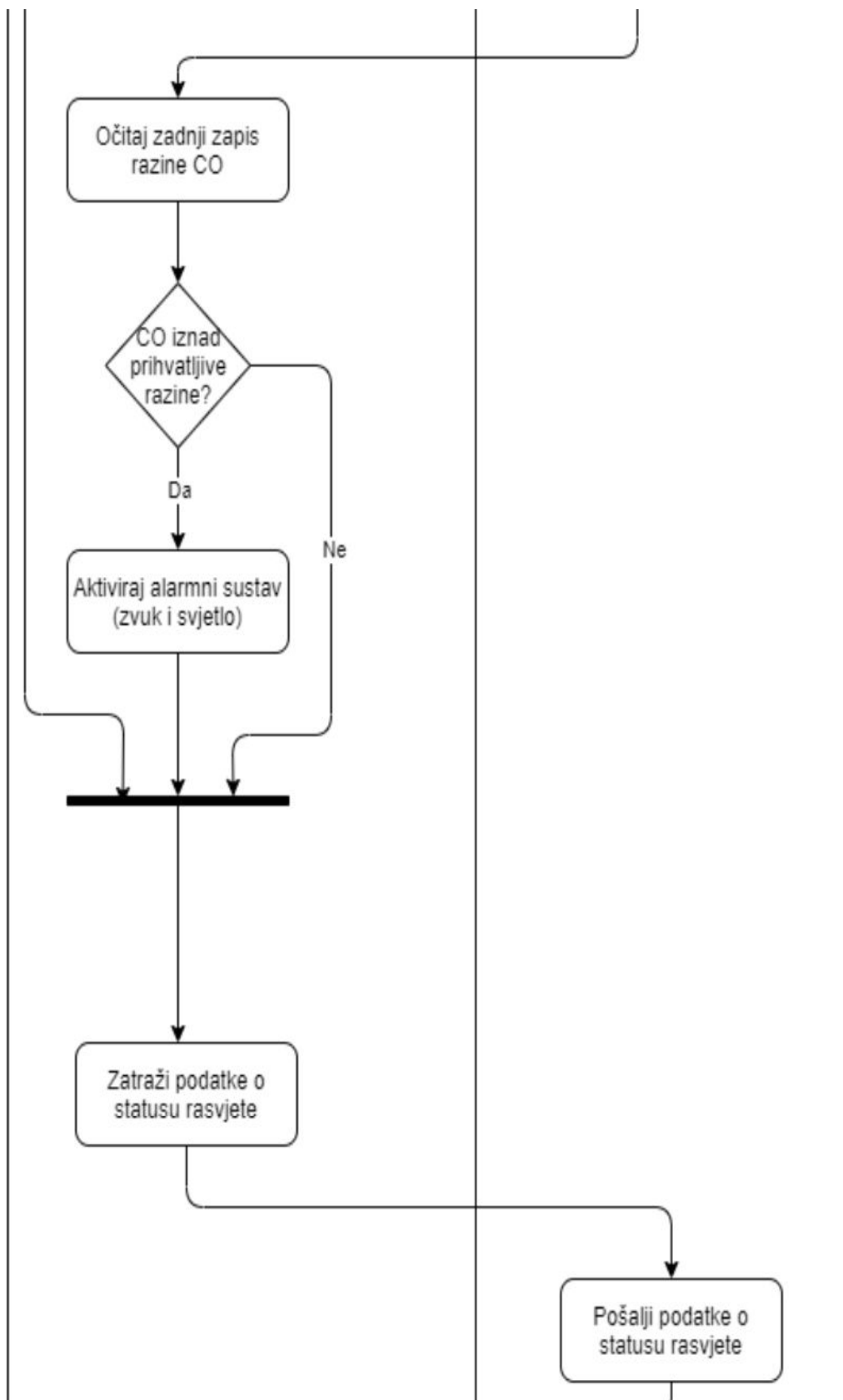
- vanjskog sustava rasvjete, s vlastitim napajanjem (za potrebe ovog prototipa korištena je obična žarulja koja se napaja iz 4.5 V baterije)
- eksperimentalne pločice
- skupa žica

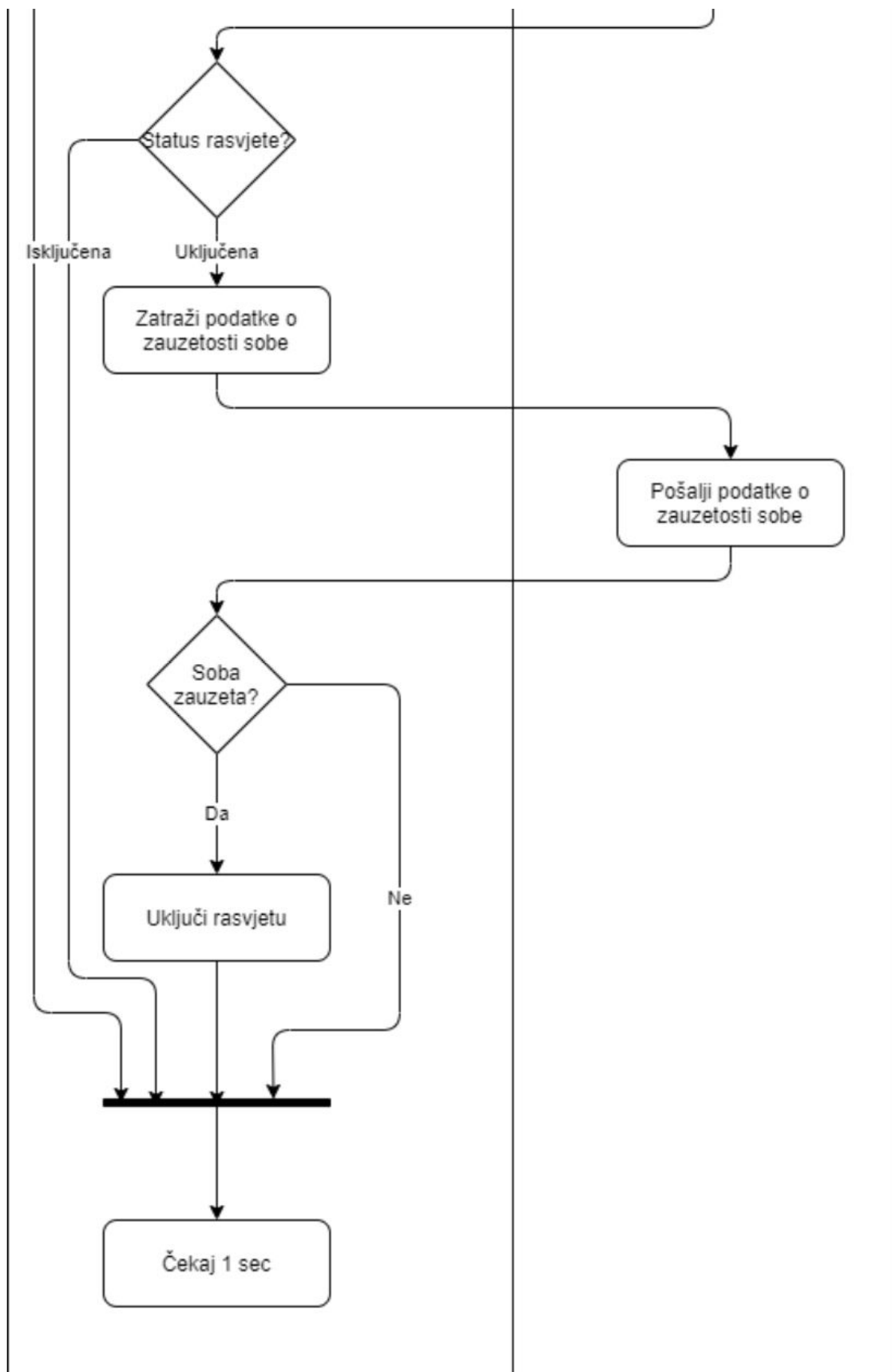
U nastavku je priložena fotografija, programski kod mikrokontrolera i UML dijagram aktivnosti ovog modula.



Slika 29. Modul za upravljanje aktuatorima (Izvor: Autor izradio)







Slika 30. UML dijagram aktivnosti modula za upravljanje aktuatorima (Izvor: Autor izradio)

```

#include <ArduinoJson.h>

#include <WiFi.h>

#include <HTTPClient.h>

const char* ssid = "";

const char* password = "";

HTTPClient http;

int httpResponseCode;

String smokeSensorStatusApi =
"http://api.thingspeak.com/channels/1189072/feeds.json?api_key=31AIFTXDB7583BP0";

String airQualityLogApi =
"http://api.thingspeak.com/channels/1199842/fields/1.json?api_key=OWAJG6IJS9ZVTXO2";

String bedroomLightStatusApi =
"http://api.thingspeak.com/channels/1199845/feeds.json?api_key=1F4CJVZV752JQG39";

String bedroomOccupancyApi =
"http://api.thingspeak.com/channels/1199848/feeds.json?api_key=MAJLJ1EOJJ1BLP5F";

String smokeSensorActive;

String maxAcceptableCoStr;

int maxAcceptableCo;

String sensedCoStr;

int sensedCo;

String bedroomOccupied;

String bedroomLightsActive;

String payload;

const int ledRoomLight = 33;

const int ledCoLight = 32;

void setup() {

    Serial.begin(115200);

    WiFi.begin(ssid, password);

```

```

Serial.println("Connecting");
while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.print("Connected to WiFi network with IP Address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

pinMode(ledRoomLight, OUTPUT);
pinMode(ledCoLight, OUTPUT);

ledcSetup(0,1E5,12);
ledcAttachPin(25,0);
}

void loop() {
    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
        Serial.println("Starting new loop iteration");
        //Do the smoke sensor work
        http.begin(smokeSensorStatusApi);
        httpResponseCode = http.GET();
        if(httpResponseCode > 0){
            payload = http.getString();
            DynamicJsonDocument doc(4096);

            deserializeJson(doc, payload);

            JSONArray feeds = doc["feeds"];

            for(int i = (feeds.size() - 1); i >= 0; i--){
                smokeSensorActive = (const char*)feeds[i]["field1"];

                if(smokeSensorActive.equals("on")){
                    Serial.println("Smoke sensor is on. Starting co level examination");
                }
            }
        }
    }
}

```

```

for(int j = (feeds.size() - 1); j >= 0; j--){
    maxAcceptableCoStr = (const char*)feeds[j]["field2"];

    if(maxAcceptableCoStr != NULL){
        maxAcceptableCo = maxAcceptableCoStr.toInt();
        break;
    }
}
break;
}else if(smokeSensorActive.equals("off")){
    Serial.println("Smoke sensor is off");
    break;
}else{
    Serial.print("Smoke sensor status invalid value: ");
    Serial.println(smokeSensorActive);
}
}
}else{
    Serial.print("Error occured during smoke sensor status data fetch. Code: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
    Serial.print("Error text: ");
    Serial.println(http.errorToString(httpResponseCode));
}
http.end();
http.begin(airQualityLogApi);
httpResponseCode = http.GET();
payload = http.getString();

if(httpResponseCode > 0){
    Serial.println("Fetching air quality logs...");
    DynamicJsonDocument doc(10240);
    deserializeJson(doc, payload);

    JsonArray feeds = doc["feeds"];

```

```

for(int i = (feeds.size() - 1); i >= 0; i--){
    sensedCoStr = (const char*)feeds[i]["field1"];
    if(sensedCoStr != NULL) break;
}
sensedCo = sensedCoStr.toInt();

Serial.print("Last sensed CO level: ");
Serial.println(sensedCo);
Serial.print("Max acceptable CO level: ");
Serial.println(maxAcceptableCo);

if(sensedCo > maxAcceptableCo){
    Serial.println("CO above safety level");
    for(int i = 0; i < 20; i++){
        digitalWrite(ledCoLight, HIGH);
        //tone(25, 33);
        ledcWriteTone(0,800);
        delay(200);
        digitalWrite(ledCoLight, LOW);
        uint8_t octave = 1;
        ledcWriteNote(0,NOTE_C,octave);
        //tone(25, 80);
        delay(200);
    }
}
}else{
    Serial.print("Error occured during air quality log data fetch. Code: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
    Serial.print("Error text: ");
    Serial.println(http.errorToString(httpResponseCode));
}

http.end();

```

```

//Do the bedroom light work
http.begin(browserLightStatusApi);
httpResponseCode = http.GET();
if(httpResponseCode > 0){
    DynamicJsonDocument doc(10240);
    payload = http.getString();
    deserializeJson(doc, payload);

    JsonArray feeds = doc["feeds"];

    for(int i = (feeds.size() - 1); i >= 0; i--){
        bedroomLightsActive = (const char*)feeds[i]["field1"];
        bedroomLightsActive.trim();

        if(bedroomLightsActive.equals("on")){
            Serial.println("Bedroom lights on");
            http.end();
            http.begin(browserOccupancyApi);
            httpResponseCode = http.GET();

            if(httpResponseCode > 0){
                payload = http.getString();
                DynamicJsonDocument doc(10240);
                deserializeJson(doc, payload);

                JsonArray feeds = doc["feeds"];

                for(int i = (feeds.size() - 1); i >= 0; i--){
                    bedroomOccupied = (const char*)feeds[i]["field1"];
                    if(bedroomOccupied.equals("true")){
                        Serial.println("Bedroom is occupied, turning lights on...");
                        digitalWrite(ledRoomLight, HIGH);
                        break;
                    }else if(bedroomOccupied.equals("false")){
                        Serial.println("Bedroom is empty, turning lights off...");
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        digitalWrite(ledRoomLight, LOW);

        break;

    }else{

        Serial.print("Bedroom occupancy invalid value: ");

        Serial.println(smokeSensorActive);

    }

}

}else{

    Serial.print("Error occured during bedroom occupancy data fetch. Code: ");

    Serial.println(httpResponseCode);

    Serial.print("Error text: ");

    Serial.println(http.errorToString(httpResponseCode));

}

http.end();

break;

}else if (bedroomLightsActive.equals("off")){

    Serial.println("Bedroom lights off");

    digitalWrite(ledRoomLight, LOW);

    break;

}else{

    Serial.print("Bedroom lights status invalid value: ");

    Serial.println(bedroomLightsActive);

}

}

}else{

    Serial.print("Error occured during bedroom light status fetch. Code: ");

    Serial.println(httpResponseCode);

    Serial.print("Error text: ");

    Serial.println(http.errorToString(httpResponseCode));

}

}

delay(1000);

}

```

Slika 31. Programski kod mikrokontrolera modula za upravljanje aktuatorima (Izvor: Autor izradio)

8. Zaključak

Internet stvari predstavlja brzorastuće i sve važnije područje današnjeg društva, što se može vidjeti i iz vremenske crte njegovog razvoja. Tome je doprinio niz faktora, gdje se primarno ističe razvoj određenih informacijskih i komunikacijskih tehnologija, opisanih u radu.

Shodno s razvojem područja, razvijala se i ideja o arhitekturi sustava temeljenih na internetu stvari. Stoga su prikazane osnovne perspektive gledišta na arhitekturu sustava interneta stvari, te su navedeni i opisani glavni modeli arhitekture navedenih sustava.

Analizirana je i primjena interneta stvari u raznim područjima, te je u svima uočen rast vrijednosti tržišta, u čemu prednjače geografske regije Sjeverna Amerika, Europa, te Azija i Pacifik, nasuprot Južne Amerike, Afrike i Srednjeg Istoka. U aspektu domene primjene pametni gradovi, industrija i zdravstvo prednjače u pogledu globalnih godišnjih prihoda ostvarenih na tom području. Nešto manje, ali i dalje značajne, primjene su uočene i u domeni agrikulture, energetike i pametnih kućanstava.

Utjecaj primjene interneta stvari je višedimenzionalan, te je u kontekstu ovoga rada analiziran u aspektu utjecaja na neke od važnih ekonomskih varijabli. Tu je uočen pozitivan utjecaj rasta primjene interneta stvari na nacionalni BDP, pogotovo u sektoru industrije. Također je uočen dvojak utjecaj na tržište rada, gdje se očekuje da će razvoj ovog područja s jedne strane ukinuti dio postojećih poslova, dok će s druge strane stvoriti nove. Također će značajan dio poslova biti modificiran. Istraženi su i opisani utjecaji razvoja područja interneta stvari na poslovne organizacije.

Iako je vrlo teško točno predvidjeti u kojem će se smjeru razvijati ovo područje i koje će biti implikacije toga, svakako se može zaključiti da će važnost i zastupljenost sustava interneta stvari rasti u budućnosti, te da će postajati sveprisutnije u životima mnogih ljudi. Na kraju teorijskog dijela rada su navedeni i najvažniji očekivani trendovi u ovom kontekstu.

U empirijskom dijelu rada izrađen je prototip sustava pametnog kućanstva, koji obuhvaća funkcionalnosti nadzora razine ugljičnog monoksida u zraku i pametnog upravljanja sobnom rasvjetom. U tom kontekstu su prezentirani sve ključne komponente tog sustava, zajedno sa pripadajućim fotografijama, UML dijagramima i preslikama programskog koda.

Izrada ovog prototipa je poslužila autoru da se praktično upozna s razvojem sustava interneta stvari i postavi temelje svog daljnjeg razvoja u tom području.

LITERATURA

- [1] E. M. Schooler, J. Sedayao, D. Zage i M. Ambrosin, "An Architectural Vision for Data - Centric IoT: Rethinking Things, Trust and Clouds", *IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, Atalanta, Georgia, lipanj 2017. [Na internetu] Dostupno: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7980109> [pristupano 25.11.2020.]
- [2] N. Galov, "How Many IoT Devices Are There in 2020? [All You Need To Know]", *Techjury*, 13. 10. 2020. [Na internetu] Dostupno: <https://techjury.net/blog/how-many-iot-devices-are-there/> [pristupano 12.08.2020.]
- [3] Mordor Intelligence, "Smart Cities Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025)", 2019. [Na internetu] Dostupno: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/smart-cities-market> [pristupano 12.08.2020.]
- [4] Espressif Systems, *ESP32*, [Na internetu] Dostupno: <https://dronebotworkshop.com/esp32-intro/> [pristupano 20.11.2020.]
- [5] Arduino, *Arduino Create* (verzija 1.8.13) (2020), [Na internetu] Dostupno: <https://www.arduino.cc/en/Main/Create> [pristupano 20.11.2020.]
- [6] Google, *Google Assistant*, [Na internetu] Dostupno: <https://www.pocket-lint.com/apps/news/google/137722-what-is-google-assistant-how-does-it-work-and-which-devices-offer-it> [pristupano 25.11.2020.]
- [7] IFTTT, *IFTTT Platform*, [Na internetu] Dostupno: <https://help.ifttt.com/hc/en-us/articles/115010158167-How-does-IFTTT-work-> [pristupano 25.11.2020.]
- [8] Math Works, *ThingSpeak*, [Na internetu] Dostupno: https://thingspeak.com/pages/how_to [pristupano 25.11.2020.]
- [9] Siebert Media, *draw.io*, [Na internetu] Dostupno: https://www.youtube.com/watch?v=rd5lcj1i_ng [pristupano 25.11.2020.]
- [10] Roboplan, *circuito.io*, [Na internetu] Dostupno: <https://www.circuito.io/about> [25.11.2020.]

- [11] S. Hymel, "Arduino Programming and Hardware Fundamentals with Hackster", *Udemy* [Web kurs], [Na internetu] Dostupno: <https://www.udemy.com/course/arduino-programming-and-hardware-fundamentals-with-hackster/> [pristupano 25.11.2020.]
- [12] J. M. Rodriguze i L. Stamatii, "The Economic Impact of IoT", *Frontier Economics*, ožujak 2018. [Na internetu] Dostupno: https://www.frontier-economics.com/media/1167/201803_the-economic-impact-of-iot_frontier.pdf [pristupano 25.11.2020.]
- [13] M. Kassab, J. F. DeFranco i P. A. Laplante, "A Systematic Literature Review on Internet of Things in Education: Benefits and Challenges", *Journal of Computer Assisted Learning*, sve. 158 izd. 2, str. 115-127, srpanj 2019. [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/333643709_A_Systematic_Literature_Review_on_Internet_of_Things_in_Education_Benefits_and_Challenges [pristupano 25.11.2020.]
- [14] S. Vashi, J. Ram, J. Modi i S. Verma, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and security issues", *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, veljača 2017. [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/320250009_Internet_of_Things_IoT_A_vision_architectural_elements_and_security_issues [pristupano 25.11.2020.]
- [15] ITU (bez dat.), "Internet of Things Global Standards Initiative", [Na internetu] Dostupno: <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> [pristupano 18.08.2020.]
- [16] S. Madakam i S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review", *Journal of Computer and Communications*, sve. 3 izd. 3, str. 164-173, travanj 2015. [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/280527542_Internet_of_Things_IoT_A_Literature_Review [pristupano 25.11.2020.]
- [17] D. Kutnick i K. Steenstrup, "The Internet of Things Revolution: Impact on Operational Technology Ecosystems", *Gartner Research*, 23.04.2020. [Na internetu] Dostupno: <https://www.gartner.com/en/documents/3036118/the-internet-of-things-revolution-impact-on-operational-> [pristupano 15.11.2020.]
- [18] R. Rio, "IoT Changes Logistics for the OEM Spare Parts Supply Chain", *ARC Advisory Group*, 09.09.2015. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno:

<https://www.arcweb.com/blog/iot-changes-logistics-oem-spare-parts-supply-chain>

[pristupano 02.09.2020.],

[19] J. Chin, V. Callaghan i S. B. Allouch, "The Internet-of-Things: Reflections on the past, present and future from a user-centered and smart environment perspective", *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, sve. 11 izd 1, str. 45-69, siječanj 2019. [Na internetu] Dostupno:

<https://content.iospress.com/articles/journal-of-ambient-intelligence-and-smart-environments/ais180506> [pristupano 24.11.2020.]

[20] H. Ikavalko, P. Turkama i A. Smedlund, "Value Creation in the Internet of Things: Mapping Business Models and Ecosystem Roles", *Technology Innovation Management Review*, sve. 8 izd. 3, str. 5-15, ožujak 2018. [Na internetu] Dostupno:

https://www.researchgate.net/publication/323923388_Value_Creation_in_the_Internet_of_Things_Mapping_Business_Models_and_Ecosystem_Roles [pristupano 25.11.2020.]

[21] P. Sethi i S. R. Sarangi, "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications", *Journal of Electrical and Computer Engineering*, siječanj 2017. [Na internetu] Dostupno: <https://www.hindawi.com/journals/jece/2017/9324035/> [pristupano 25.11.2020.]

[22] M. Muntjir, M. Rahul i H. Alhumiany, "An Analysis of Internet of Things(IoT): Novel Architectures, Modern Applications, Security Aspects and Future Scope with Latest Case Studies", *International Journal of Engineering Research & Technology*, sve. 6 izd. 6, str. 422-448, lipanj 2017. [Na internetu] Dostupno:

https://www.researchgate.net/publication/317570955_An_Analysis_of_Internet_of_ThingsIoT_Novel_Architectures_Modern_ApplicationsSecurity_Aspects_and_Future_Scope_with_Latest_Case_Studies [pristupano 25.11.2020.]

[23] J. Teicher, "The little-known story of the first IoT device", *IBM*, 07.02.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno:

<https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/> [18.08.2020.]

[24] K. Shafique, B. A. Khawaja, F. Sabir i S. Qazi, "Internet of Things (IoT) For Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios", *IEEE Access*, siječanj 2020. [Na internetu] Dostupno:

https://www.researchgate.net/publication/338874911_Internet_of_Things_IoT_For_Next-Ge

[neration Smart Systems A Review of Current Challenges Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios](#) [pristupano 25.11.2020.]

[25] A. Braun, "History of IoT: A Timeline of Development", *IoT Tech Trends*, 25.01.2019. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.iottechrends.com/history-of-iot/> [pristupano 18.08.2020.]

[26] HQ Software, "The History of IoT: a Comprehensive Timeline of Major Events, Infographic", 12.07.2018. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://hqsoftwarelab.com/blog/the-history-of-iot-a-comprehensive-timeline-of-major-events-infographic/> [pristupano 18.08.2020.]

[27] M. Burhan, R. A. Rehman, B. Kim i B. Khan, "IoT Elements, Layered Architectures and Security Issues: A Comprehensive Survey", *Sensors*, sve. 18 izd. 9, kolovoz 2018. [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/327272757_IoT_Elements_Layered_Architectures_and_Security_Issues_A_Comprehensive_Survey [pristupano 18.08.2020.]

[28] J. Fruhlinger, "The Mirai botnet explained: How teen scammers and CCTV cameras almost brought down the internet", *CSO Online*, 09.03.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.csoonline.com/article/3258748/the-mirai-botnet-explained-how-teen-scammers-and-cctv-cameras-almost-brought-down-the-internet.html> [pristupano 25.11.2020.]

[30] European Passive Components Institute (EPCI), "What is RFID? How RFID works? RFID Explained in Detail", *Passive Components Blog*, 14.04.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://passive-components.eu/what-is-rfid-how-rfid-works-rfid-explained-in-detail/> [pristupano 25.11.2020.]

[31] N. Unuth, "Wi-Fi Explained: The Most Common Wireless LAN Network", *Lifewire*, 10.05.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.lifewire.com/wifi-explained-3426413> [pristupano 29.08.2020.]

[32] P. Collela, "5G and IoT: Ushering in a new era", *Ericsson* [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.ericsson.com/en/about-us/company-facts/ericsson-worldwide/india/authored-articles/5g-and-iot-ushering-in-a-new-era> [pristupano 29.08.2020.]

- [33] S. Hill, "What is NFC? Here's everything you need to know", *Digital Trends*, 28.10.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-nfc/> [pristupano 25.11.2020.]
- [34] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), *IEEE 802.15.4*, svibanj 2003. [Na internetu] Dostupno: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html [pristupano 25.11.2020.]
- [35] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), *IEEE 802.15.1*, lipanj 2002. [Na internetu] Dostupno: https://standards.ieee.org/standard/802_15_1-2005.html [pristupano 25.11.2020.]
- [36] P. Choubey, M. Patel i A. Meena, "A Review Paper on IOT and it's Data Protocol", *International Journal of Engineering and Technical Research*, sve. 9 izd. 2, veljača 2020. [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/341874541_A_Review_Paper_on_IOT_and_it's_Data_Protocol [pristupano 25.11.2020.]
- [37] Electronics Projects Focus (El-Pro-Cus), "Wireless Sensor Networks and their Applications" [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.elprocus.com/introduction-to-wireless-sensor-networks-types-and-applications/> [pristupano 29.08.2020.]
- [38] S. Cope, "Beginners Guide To The MQTT Protocol", *Steve's Internet Guide* [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt/> [pristupano 30.08.2020.]
- [39] Internet Engineering Task Force (IETF), *Constrained Application Protocol (CoAP)* [Na internetu] Dostupno: <https://coap.technology/> [pristupano 30.08.2020.]
- [40] OASIS Open, *Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)* [Na internetu] Dostupno: <https://www.amqp.org/about/what> [pristupano 30.08.2020.]
- [41] M. Weyrich i C. Ebert, "Reference Architectures for the Internet of Things", *IEEE Software*, sve. 33, izd. 1, str. 112-116, siječanj 2016. [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/288855901_Reference_Architectures_for_the_Internet_of_Things [pristupano 25.11.2020.]

- [42] T. Leppanen, "Resource-Oriented Mobile Agent and Software Framework for the Internet of Things", *University of Oulu: Faculty of Information Technology and Electrical Engineering*, 2018. [Doktorska disertacija] [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/323826455_Resource-Oriented_Mobile_Agent_and_Software_Framework_for_the_Internet_of_Things [pristupano 25.11.2020.]
- [43] K. Sha, T. A. Yang i S. Davari, "A survey of edge computing based designs for IoT security", *Digital Communications and Networks*, sve. 6 izd. 2, rujan 2019. [Na internetu] Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/335675082_A_survey_of_edge_computing_based_designs_for_IoT_security [pristupano 25.11.2020.]
- [44] O. Novo, "Blockchain Meets IoT: An Architecture for Scalable Access Management in IoT", *IEEE Internet of Things Journal*, sve. 5 izd. 2, travanj 2018. [Na internetu] Dostupno: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8306880> [pristupano 25.11.2020.]
- [45] J. Manyka i sur. "Unlocking the potential of the Internet of Things", *McKinsey Global Institute*, 01.07.2015. [Izveštaj] [Na internetu] Dostupno: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world> [pristupano 01.09.2020.]
- [46] Upsana (pseudonim), "Real World IoT Applications in Different Domains", *Edureka*, 25.11.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.edureka.co/blog/iot-applications/> [pristupano 25.11.2020.]
- [47] The Manufacturer, "Applications of IoT in Manufacturing Plants", 12.04.2018. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno: <https://www.themanufacturer.com/articles/applications-iot-manufacturing-plants/> [pristupano 25.11.2020.]
- [48] A. Holst, "Industrial IoT market size 2018, by region", *Statista*, 22.10.2020. [Izveštaj] [Na internetu] Dostupno: <https://www.statista.com/statistics/1174485/industrial-iot-market-by-region/> [pristupano 22.11.2020.]
- [49] Markets and Markets, "Industrial IoT (IIoT) Market by Device & Technology (Sensor, RFID, Industrial Robotics, DCS, Condition Monitoring, Networking Technology), Connectivity (Wired, Wireless, Field Technology), Software (PLM, MES, SCADA), Vertical, Region - Global Forecast to 2025", 2019. [Izveštaj] [Na internetu] Dostupno:

<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-internet-of-things-market-129733727.html> [pristupano 01.09.2020.]

[50] N. Jordan, "7 Staggering Stats on Healthcare IoT Innovation", *Medium*, 16.08.2019. [Blog članak] [Na internetu] Dostupno:

<https://medium.com/datadriveninvestor/7-staggering-stats-on-healthcare-iot-innovation-fe6b92774a5c> [pristupano 01.09.2020.]

[51] City Seeders, "11 Domains of Smart City Innovation" [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: <https://www.cityseeders.com/blog/-/blogs/11-domains-of-smart-city-innovation> [pristupano 01.09.2020.]

[52] Allied Market Research, "Smart Cities Market by Functional Area (Smart Governance & Smart Education, Smart Energy, Smart Infrastructure, Smart Mobility, Smart Healthcare, Smart Building, and Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2018 - 2025", studeni 2018. [Izveštaj] [Na internetu] Dostupan: <https://www.alliedmarketresearch.com/smart-cities-market> [pristupano 01.09.2020.]

[53] R. Varma, "Smart Cities Market Size & Analysis, Industry Report, 2020–2027", *Medium*, svibanj 2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: <https://medium.com/ict-market-research-reports/smart-cities-market-size-analysis-industry-report-2020-2027-fee6dc8b541> [pristupano 01.09.2020.]

[54] P. Wessel, "Navigant reports how innovative mobility solutions lead to smart cities", *Parksmart*, 05.08.2018. [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: <https://parksmart.gbci.org/navigant-reports-how-innovative-mobility-solutions-lead-smart-cities> [pristupano 22.11.2020.]

[55] S. Liu, "Smart city market revenue worldwide 2019-2025", *Statista*, travanj 2020. [Izveštaj] [Na internetu] Dostupan: <https://www.statista.com/statistics/1111626/worldwide-smart-city-market-revenue/> [pristupano 20.11.2020.]

[56] Statista Digital Market Outlook, "Smart Home Report 2020", *Statista* [Izveštaj] [Na internetu] Dostupan: <https://www.statista.com/outlook/283/100/smart-home/worldwide> [pristupano 01.09.2020.]

[57] J. Lyons Hardcastle, "Smart Grid Data Analytics Spending to Total 'More Than \$34bn Through 2020'", *Environment + Energy Leader - Environmental and Energy News*,

24.09.2020. [Izveštaj] [Na internetu] Dostupan:

<https://www.environmentalleader.com/2012/09/smart-grid-data-analytics-spending-to-total-more-than-34bn-through-2020/> [pristupano 23.11.2020.]

[58] I. Tiseo, "Global smart grid market size by region 2017-2023", *Statista*, 09.10.2020.

[Na internetu] Dostupno:

<https://www.statista.com/statistics/246154/global-smart-grid-market-size-by-region/>

[pristupano 01.09.2020.]

[59] S. Ravindra, "IoT Applications in Agriculture", *IoT for All*, 30.06.2020. [Blog članak]

[Na internetu] Dostupno: <https://www.iotforall.com/iot-applications-in-agriculture> [pristupano 01.09.2020.]

[60] S. Fourtane, "IoT and Smart Agriculture Are Building Our Future Cities Today",

Interesting Engineering, 07.10.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupan:

<https://interestingengineering.com/iot-and-smart-agriculture-are-building-our-future-cities-today> [pristupano 25.11.2020.]

[61] Markets and Markets, "Agriculture IoT Market by Offering (Hardware, Software, & Services), Application (Precision Farming, Precision Forestry, Livestock Monitoring, Fish Farm Monitoring and Smart Greenhouse), Application, and Geography - Global Forecast to 2024", 2018. [Izveštaj] [Na internetu] Dostupan:

<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-in-agriculture-market-199564903.html> [pristupano 01.09.2020.]

[62] H. Sloan, "How IoT Impacts the Economy", *IoT for All*, 09.04.2020. [Blog članak] [Na

internetu] Dostupno: <https://www.iotforall.com/how-iot-impacts-economy> [pristupano

02.09.2020.]

[63] K. Derojeda, "How IoT will impact our jobs", *European Commission*, 02.08.2018.

[Blog članak] [Na internetu] Dostupno:

<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blog/how-iot-will-impact-our-jobs> [pristupano

02.09.2020.]

[64] N. Chandler, "10 New Jobs Created by the Internet of Things", *How Stuff Works*

[Blog članak] [Na internetu] Dostupan:

<https://money.howstuffworks.com/10-jobs-internet-of-things.htm> [pristupano 02.09.2020.]

[65] C. Middleton (ur.), "Five ways the Internet of Things is transforming businesses today", *Internet of Business* [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: <https://internetofbusiness.com/5-ways-the-internet-of-things-is-transforming-businesses-today/#> [pristupano 02.09.2020.]

[66] C. Turner, "The future of IoT: On the edge", *SAS* [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: https://www.sas.com/en_us/insights/articles/data-management/the-future-of-iot-on-the-edge.html#/ [pristupano 02.09.2020.]

[67] P. Shetty, "The Future of the Internet of Things", *Wharton Magazine*, 25.03.2019. [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: <https://magazine.wharton.upenn.edu/digital/the-future-of-the-internet-of-things/> [pristupano 02.09.2020.]

[68] Mehavarunan (pseudonim), "The Future of IOT: 4 Predictions about the Internet of Things", *Thrive Global*, 07.10.2019. [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: <https://thriveglobal.com/stories/the-future-of-iot-4-predictions-about-the-internet-of-things/> [pristupano 02.09.2020.]

[69] D. Suri, "The Future of IoT: 15 Trends to Expect in the Forthcoming Time", *DZone - A Devada Media Property*, 08.07.2020. [Blog članak] [Na internetu] Dostupan: <https://dzone.com/articles/the-future-of-iot-15-trends-to-expect-in-the-forth> [pristupano 02.09.2020.]

SLIKE

Slika 1. Globalna vrijednost tržišta interneta stvari u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [29])

Slika 2. Model troslojne arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [21])

Slika 3. Model petoslojne arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [21])

Slika 4. Model oblako - centrične arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [42])

Slika 5. Slojevi koje obuhvaća lokalna upravljačka jedinica u rubno - centričnoj arhitekturi interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [21])

Slika 6. Model rubno - centrične arhitekture sustava interneta stvari (Izvor: Autor izradio prema [43])

Slika 7. Model arhitekture sustava interneta stvari temeljene na blockchainu (Izvor: Autor izradio prema [44])

Slika 8. Veličina tržišta industrijskog interneta stvari, s obzirom na regiju u 2018, u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [48])

Slika 9. Globalna vrijednost tržišta industrijskog interneta stvari u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [49])

Slika 10. Globalna vrijednost tržišta interneta stvari u zdravstvu u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [50])

Slika 11. Struktura tržišta pametnih gradova stvari s obzirom na regiju, 2018. (Izvor: Autor izradio prema [54])

Slika 12. Globalna potrošnja na projekte pametnih gradova u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [55])

Slika 13. Globalna vrijednost tržišta pametnih kućanstava u milijunima \$ (Izvor: Autor izradio prema [56])

Slika 14. Struktura tržišta pametnih električnih mreža, s obzirom na regiju, 2019 (Izvor: Autor izradio prema [57])

Slika 15. Globalna vrijednost tržišta pametnih električnih mreža u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [58])

Slika 16. Globalna vrijednost tržišta interneta stvari u agrikulturi u milijardama \$ (Izvor: Autor izradio prema [61])

Slika 17. Utjecaj rasta od 10% M2M konekcija na rast gospodarskih varijabli (Izvor: Autor izradio prema [17])

Slika 18. Arhitektura prototipa sustava pametnog kućanstva (Izvor: Autor izradio)

- Slika 19. Specifikacija IFTTT apleta Room Light Management (Izvor: Autor izradio)
- Slika 20. Specifikacija IFTTT apleta Gas Sensor Status (Izvor: Autor izradio)
- Slika 21. Specifikacija IFTTT apleta Max Acceptable CO Level (Izvor: Autor izradio)
- Slika 22. Modul nadzora dima (Izvor: Autor izradio)
- Slika 23. UML dijagram aktivnosti modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)
- Slika 24. Programski kod mikrokontrolera modula nadzora dima (Izvor: Autor izradio)
- Slika 25. Modul nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)
- Slika 26. UML dijagram aktivnosti modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)
- Slika 27. UML dijagram strojeva stanja modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)
- Slika 28. Programski kod mikrokontrolera modula nadzora pokreta (Izvor: Autor izradio)
- Slika 29. Modul za upravljanje aktuatorima (Izvor: Autor izradio)
- Slika 30. UML dijagram aktivnosti modula za upravljanje aktuatorima (Izvor: Autor izradio)
- Slika 31. Programski kod mikrokontrolera modula za upravljanje aktuatorima (Izvor: Autor izradio)