

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

**Nino Lončar**

**MOBILNI UREĐAJ KAO INSTRUMENT  
PRIKUPLJANJA I OBRADJE PODATAKA U  
DOMENI INTERNETA STVARI**

**ZAVRŠNI RAD**

**Varaždin, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE**  
**V A R A Ž D I N**

**Nino Lončar**

**Matični broj: 0016153176**

**Studij: Informacijski i poslovni sustavi**

**MOBILNI UREĐAJ KAO INSTRUMENT PRIKUPLJANJA I OBRADE**  
**PODATAKA U DOMENI INTERNETA STVARI**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:**

Izv. prof. dr. sc. Zlatko Stapić

**Varaždin, rujan 2024.**

*Nino Lončar*

### **Izjava o izvornosti**

Izjavljujem da je moj završni 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

Glavni cilj ovoga rada jest istražiti i predstaviti uloge i mogućnosti mobilnih uređaja u kontekstu interneta stvari. Rad sadrži teorijsku osnovu za razumijevanje interneta stvari razmatrajući: definiciju, razvoj, budućnost, primjenu i arhitekturu interneta stvari. S obzirom na važnu ulogu koju ima u internetu stvari, kratko je opisano i računalstvo u oblaku. U sklopu rada pružen je pregled uređaja interneta stvari analizirajući vrste senzora, aktuatora i komunikacijskih tehnologija koje koriste. Kao praktični dio rada, izrađen je sustav u kojemu se prikupljaju podaci sa senzora mobilnog uređaja. Kod izrade sustava, za mobilnu je aplikaciju korišten Kotlin, dok se za pohranu i obradu podataka koristi oblak MongoDB Atlas. Također je izrađena i mrežna aplikacija za pregled prikupljenih podataka te za registraciju mobilnih uređaja koji prikupljaju senzorske podatke.

**Ključne riječi:** internet stvari, mobilni uređaji, senzori, aktuatori, komunikacijske tehnologije, računalstvo u oblaku, uređaji interneta stvari, pametni telefon

# Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Metode i tehnike rada .....	2
3. Što je internet stvari .....	3
3.1. Definicija interneta stvari .....	3
3.2. Povijest interneta stvari .....	4
3.3. Budućnost interneta stvari .....	6
3.4. Primjena interneta stvari .....	7
3.4.1. Pametna kuća .....	7
3.4.2. Pametni grad .....	8
3.4.3. Industrijski internet stvari .....	9
4. Arhitektura interneta stvari .....	11
5. Računalstvo u oblaku .....	14
5.1. Modeli implementacije računalstva u oblaku .....	15
5.2. Servisni modeli računalstva u oblaku .....	17
6. Uređaji interneta stvari .....	19
6.1. Senzorske mogućnosti .....	20
6.2. Aktuatorske mogućnosti .....	21
6.3. Komunikacijske tehnologije .....	22
6.3.1. Wi-Fi .....	23
6.3.2. Bluetooth .....	23
6.3.3. ZigBee .....	24
7. Mobilni uređaji u kontekstu interneta stvari .....	26
8. Praktični primjer .....	32
8.1. Arhitektura sustava .....	32
8.2. Registracija i autentifikacija uređaja .....	33
8.3. Prikupljanje, obrada i prikaz podataka .....	37
9. Zaključak .....	42
Popis literature .....	43
Popis slika .....	50
Popis tablica .....	51
Popis programskih kodova .....	52
Prilozi .....	53

# 1. Uvod

Konstantnim rastom broja uređaja koji međusobno komuniciraju i koji su povezani na internet, internet stvari postaje sve prisutniji iz dana u dan transformirajući, između ostalog, domove, gradove i različite industrije. Jedna od vrsta uređaja čiji broj stalno raste, koji se stalno unaprjeđuju te imaju vrlo važnu ulogu u svakodnevnom životu su mobilni uređaji, odnosno pametni telefoni. S obzirom da se, zbog velikog broja senzora i komunikacijskih tehnologija, pametni telefoni mogu smatrati idealnim uređajima interneta stvari, ovaj rad opisuje koju danas ulogu pametni telefoni imaju u domeni interneta stvari te istražuje njihove potencijale. Cilj je rada predstaviti osnovne koncepte interneta stvari, pružiti pregled senzorskih, aktuatorskih i komunikacijskih mogućnosti uređaja interneta stvari, sagledati mobilne uređaje u kontekstu interneta stvari te implementirati i demonstrirati jednostavan sustav u kojem se prikupljaju i obrađuju podaci sa senzora mobilnih uređaja.

Uključujući uvod i zaključak, rad ima devet poglavlja. Drugo poglavlje pruža pregled metoda i tehnika koje su se koristile tijekom izrade rada. Cilj trećeg poglavlja je upoznavanje s osnovama interneta stvari, odnosno s njegovim definicijama i karakteristikama, poviješću razvoja, budućnošću te s primjenom interneta stvari kroz konkretne primjere. Četvrto poglavlje opisuje arhitekturu sustava interneta stvari i njezine slojeve. Peto se poglavlje bavi računalstvom u oblaku kao jednom od vrlo važnih tehnologija za internet stvari te njegovim servisnim modelima i modelima implementacije. Šesto poglavlje pruža detaljan uvid u uređaje interneta stvari te vrste senzora, aktuatora i komunikacijskih tehnologija koje oni mogu primjenjivati. Sedmo poglavlje analizira mobilne uređaje kao uređaje interneta stvari opisujući njihove senzorske i komunikacijske mogućnosti te zadaće koje mogu obavljati u domeni interneta stvari. Osmo se poglavlje bavi praktičnim dijelom koji je izrađen u sklopu ovog rada sadržavajući opis korištenih tehnologija te opis arhitekture, zadaća i funkcioniranja sustava.

## 2. Metode i tehnike rada

Tijekom izrade ovog rada, za teorijsku su obradu teme većinom korišteni znanstveni članci, radovi i konferencijski papiri koji su ili javno dostupni ili imaju omogućen pristup za studente Sveučilišta u Zagrebu. Nakon analize radova, pronađene informacije su prikupljene, sažete i predstavljene u sklopu ovoga rada kako bi se stvorila cjelovita slika o relevantnim temama.

Tijekom izrade rada, kao pomoć je korištena umjetna inteligencija, konkretno ChatGPT. Umjetna inteligencija nije korištena za generiranje sadržaja ili kao izvor informacija koje se nalaze u teorijskom dijelu ovoga rada, već samo kao pomoć u formuliranju rečenica kako bi one bile što razumljivije te kao izvor jezičnih savjeta. U praktičnome dijelu rada, umjetna je inteligencija korištena kao pomoć u pisanju programskog koda. Konkretno je korištena za generiranje manjih dijelova koda, za pronalazak pogrešaka u postojećem kodu te za davanje savjeta za njegovo refaktoriranje.

Saznanja stečena tijekom pisanja teorijskog dijela primijenjena su za razvoj sustava koji predstavlja praktični dio rada. Kao dio sustava, razvijena je mobilna aplikacija u programskom jeziku Kotlin i koristeći Android Studio razvojno okruženje. Za testiranje je aplikacije korišten Nokia G50 pametni telefon i Google Pixel 4 emulator. U svrhe pohrane i obrade podataka, sustav upotrebljava oblak MongoDB Atlas i besplatni plan koji on pruža. HTML, CSS i JavaScript korišteni su za razvoj mrežne aplikacije, dok je za razvoj poslužitelja mrežne aplikacije korišten Node.js. Za testiranje mrežne aplikacije upotrebljavao se preglednik Firefox.

## 3. Što je internet stvari

Ovo poglavlje opisuje koncept interneta stvari pružajući temeljno razumijevanje definicija i karakteristika interneta stvari te njegovog povijesnog razvoja. Nastoji se stvoriti ideja o tome kako bi mogla izgledati budućnost interneta stvari i koje bi tehnologije mogle biti važne za njegov daljnji razvoj. Opisana su tri načina primjene interneta stvari, stvarajući sliku o utjecaju interneta stvari, kako na poslovna okruženja, tako i na privatni život.

### 3.1. Definicija interneta stvari

Različiti autori, stručnjaci i organizacije definiraju internet stvari na različite načine, ovisno o tome što je u fokusu njihovog promatranja. Međunarodna telekomunikacijska unija (2012) u fokus stavlja informacijsko društvo kojemu internet stvari, kao globalna infrastruktura, pruža usluge tako da povezuje stvari koristeći informacijske i komunikacijske tehnologije (eng. *Information and communications technology*). Minerva, Biru i Rotondi (2014) u definiciji veći naglasak stavljaju na same stvari, opisujući internet stvari kao mrežu koja povezuje stvari na internet. Pri tome opisuju stvari kao jedinstveno prepoznatljive, programibilne i sa senzorskim, odnosno aktuatorskim sposobnostima.

Prema Minervi i ostalima (2014), glavne karakteristike interneta stvari uključuju: međusobnu povezanost stvari, povezanost stvari na internet, jedinstvenu prepoznatljivost, sveprisutnost, senzorske i aktuatorske sposobnosti, ugrađenu inteligenciju, komunikacijsku interoperabilnost, programibilnost i samokonfiguriranje. Jedinstvena prepoznatljivost stvari se može ostvariti identificiranjem preko IP (eng. *Internet Protocol*) ili MAC (eng. *Media Access Control*) adrese, broja mobilnog telefona... Sveprisutnost je objašnjena kao dostupnost mreže onda kada je potrebna i tamo gdje je potrebna. Senzorske i aktuatorske sposobnosti omogućuju stvarima da mjere određene vrijednosti iz okoline, odnosno da interagiraju s okolinom. Komunikacijska interoperabilnost označava mogućnost komunikacije raznovrsnih uređaja, unatoč njihovim razlikama kao što su različiti proizvođači ili različiti protokoli. Programibilnost omogućuje određivanje i mijenjanje ponašanja uređaja bez mijenjanja samog uređaja na fizičkoj razini. Samokonfiguriranje označava da uređaj može upravljati samim sobom i podešavati se bez ljudske intervencije. U kontekstu interneta stvari, samokonfiguriranje je vrlo važno zbog velikog broja, koji stalno raste, i raznolikosti uređaja koje bi bilo vrlo teško pojedinačno konfigurirati. Uz ove, drugi izvor (Međunarodna telekomunikacijska unija, 2012) kao glavne karakteristike interneta stvari još naglašava i: heterogenost uređaja, dinamičke promjene i jako veliki broj uređaja koji su dio interneta stvari.



Dinamičke promjene podrazumijevaju promijene stanja uređaja, konteksta uređaja pa čak i promijene u broju uređaja.

Iako postoji veliki broj različitih definicija interneta stvari, sve definicije, u većem ili manjem opsegu, naglašavaju komunikaciju stvari, povezivanje stvari na internet, te razmjenu i prikupljanje podataka preko senzora.

## 3.2. Povijest interneta stvari

Iako je široka primjena i popularizacija interneta stvari karakteristična za 21. stoljeće, njegovi su temelji postavljeni u 20. stoljeću, prvenstveno kroz druge tehnologije koje su prethodile ideji i razvoju interneta stvari.

RFID (eng. *Radio Frequency Identification*) se smatra jednom od ključnih tehnologija koje su omogućile razvoj interneta stvari. RFID se koristi za identifikaciju objekata i prijenos podataka preko radio valova koristeći oznake i čitače oznaka. Počeci razvoja RFID tehnologije mogu se pronaći još u vrijeme Drugog svjetskog rata. Mario W. Cardullo je 1973. patentirao RFID oznaku s memorijom koja se može prepisivati. Razvoj RFID tehnologije je nastavio u ostatku 20. stoljeća kroz primjenu u različite svrhe, od praćenja stoke, do praćenja nuklearnih materijala (Minerva i ostali, 2014).

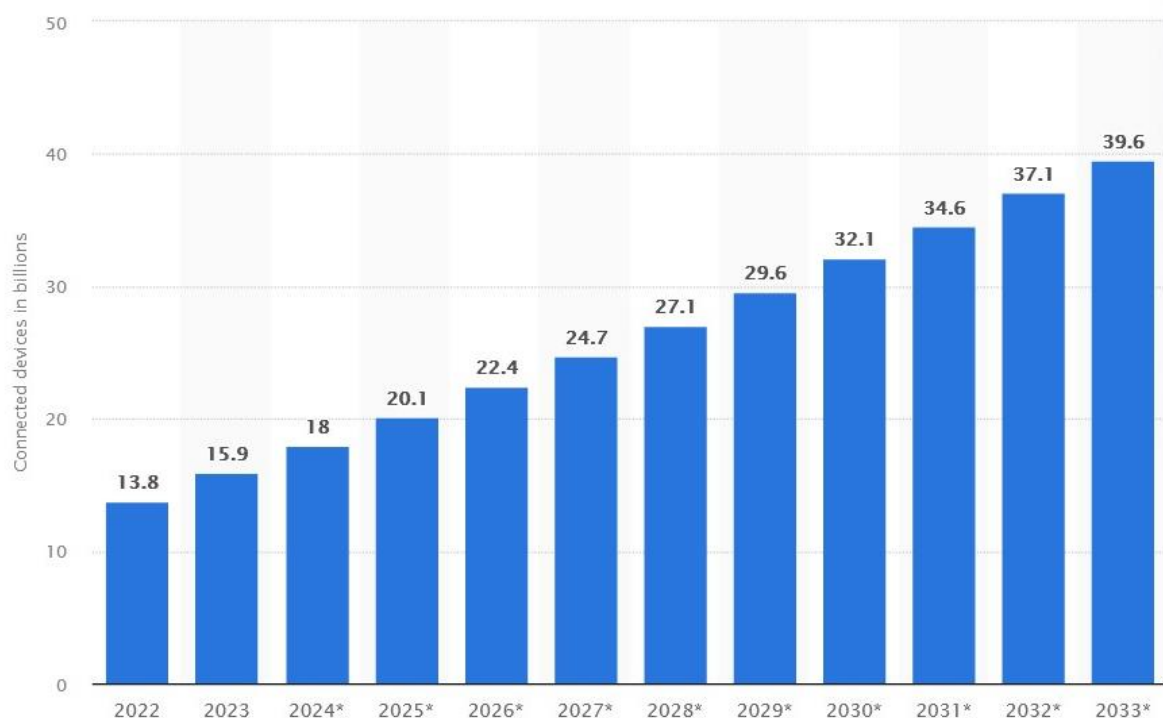
1990. godine napravljen je uređaj koji se smatra prvim uređajem interneta stvari; toster koji se mogao kontrolirati preko interneta. Napravio ga je John Romkey te ga je demonstrirao na Interop konferenciji 1990. U izradi je koristio SNMP (eng. *Simple Network Management Protocol*) (Romkey, 2017). Tijekom zadnjeg desetljeća 20. stoljeća, nastali su i drugi rani primjeri uređaja interneta stvari poput aparata za kavu na Sveučilištu u Cambridgeu iz 1993. godine, koji je bio spojen na internet (Lea, 2018).

Zasluge za osmišljavanje pojma „internet stvari“ uzima Kevin Ashton. Ashton (2009) objašnjava kako je „Internet stvari“ bio naslov prezentacije koju je držao u američkoj kompaniji Procter & Gamble 1999. godine, kada im je predstavio ideju uvođenja RFID tehnologije u njihov lanac opskrbe.

2005. godina je vrlo važna za internet stvari jer je te godine Međunarodna komunikacijska agencija objavila izvještaj o internetu stvari. Međunarodna telekomunikacijska agencija (2005) u svome izvještaju, između ostalog, piše o velikom broju uređaja povezanih na internet, o prikupljanju podataka preko senzora te ugrađenoj inteligenciji u stvari. Naglašava i važnost RFID tehnologije u sklopu interneta stvari. Također je navedena i velika važnost standardizacije kako bi se ostvarila masovne upotreba. Ovaj je izvještaj značajan jer je

definirao karakteristike te identificirao benefite i izazove interneta stvari čime je napravio temelje za njegov daljnji razvoj.

Evans (2011) navodi kako Cisco IBSG (eng. *Internet Business Solutions Group*) smatra da se je ideja interneta stvari ostvarila 4 godine poslije, odnosno između 2008. i 2009. godine, kada je broj uređaja spojenih na internet postao veći od broja ljudi. Slika 1 prikazuje procjenu broja povezanih uređaja interneta stvari od 2022. do 2033. godine prema Vailsheryju (2023). Vailshery procjenjuje da je 2023. godine broj povezanih uređaja interneta stvari iznosio 15.14 milijardi. U odnosu na 2019. godinu, kada procjenjuje da je broj uređaja bio 8.6 milijardi, može se reći da se je broj uređaja skoro poduplao u samo 4 godine.



Slika 1: Procjena broja uređaja interneta stvari prema Vailsheryju (2023)

Dolazi se do zaključka da je internet stvari puno napredovao od vremena inicijalnih razvoja važnih tehnologija poput RFID-a te postojanja pojedinačnih i izoliranih primjera uređaja interneta stvari. U manje od 20 godina od prvog izvještaja o internetu stvari Međunarodne telekomunikacijske agencije, broj uređaja interneta stvari se broji u milijardama te je u konstantnom i brzom rastu.

### 3.3. Budućnost interneta stvari

Unatoč tome što je o budućnosti teško govoriti sa sigurnošću, jasno je vidljivo da razvoj interneta stvari ne pokazuje znakove usporavanja te da će zasigurno postajati sve prisutniji i dobivati sve važniju ulogu u modernoj civilizaciji. Međutim, uspješan budući razvoj zahtjeva suočavanje s problemima koji su prisutni od samih početaka interneta stvari, a to su: sigurnost, privatnost i manjak standardizacije. Za suočavanje s ovim, ali i drugim postojećim i budućim problemima, trenutno korištene tehnologije možda nisu adekvatne te bi se potencijalna rješenja mogla potražiti u novijim i nadolazećim tehnologijama kao što su 5G mobilna mreža ili blockchain.

Iako, kada se spomene 5G mobilna mreža, internet stvari nije prva asocijacija na koju bi pomislio veliki broj ljudi, Sicari i ostali (2020) smatraju da će 5G najviše doprinijeti upravo u napretku interneta stvari. 5G predstavlja petu generaciju mobilne mreže. Razvijena je kako bi se riješila ograničenja koja su predstavljala problem u četvrtoj generaciji, a, između ostalog, karakteriziraju ju: vrlo visoka brzina prijenosa podataka, niska latencija te konzistentna i pouzdanija povezanost. S obzirom na to da internet stvari karakteriziraju vrlo velike količine podatka koje se prenose te primjene, kao što su industrijska okruženja, gdje je brzina odziva vrlo bitna, 5G će zasigurno zauzimati sve važniju ulogu u internetu stvari. 5G također podržava i komunikaciju između uređaja (eng. *Device-to-device* ili D2D), što predstavlja još jednu veliku prednost iz perspektive interneta stvari. Naprimjer, 5G bi mogao pomoći u razvoju i postati važan aspekt u: kirurškim operacijama na daljinu, za koje je vrlo važna brzina odziva, upravljanje dronovima za nadzor, dostavljanje, traženje i spašavanje te sustavima za sigurnost i nadzor (Wazid i ostali, 2020).

Inicijalno je ideja o blockchainu nastala u kontekstu kriptovaluta, ali Rao i Clarke (2020) pišu o mogućnostima njegove primjene unutar domene interneta stvari. Ističu perzistentnost, decentraliziranost i anonimnost kao karakteristike blockchaine zbog kojih je on prikladan za korištenje i u nefinancijskim područjima. Pišu da sigurnost blockchaine proizlazi iz velikog broja različitih korisnika, što je zasigurno jedna od karakteristika interneta stvari gdje broj uređaja konstantno raste. Naglašavaju da bi pohrana i mogućnosti obrade koje blockchain zahtjeva mogle predstavljati problem u njegovoj implementaciji. S druge strane spominju 5G kao tehnologiju koja bi, zahvaljujući velikoj brzini i maloj latenciji, omogućila upotrebu blockchaine u sklopu interneta stvar poboljšavajući efikasnost nekih njegovih aspekata.

S razvojem 5G mreža i prihvaćanjem blockchaine, ali i primjenjivanjem i drugih tehnologija u razvoju poput umjetne inteligencije ili strojnog učenja, sustavi će internet stvari zasigurno postajati sve efikasniji i inteligentniji. Nove tehnologije predstavljaju način otključavanja novih potencijala interneta stvari omogućavajući bržu i sigurniju razmjenu podataka, bolju analitiku i

automatsko donošenje odluka te potičući razvoj inovativnih aplikacijskih rješenja za unaprjeđenje poslovnih procesa i privatnih života.

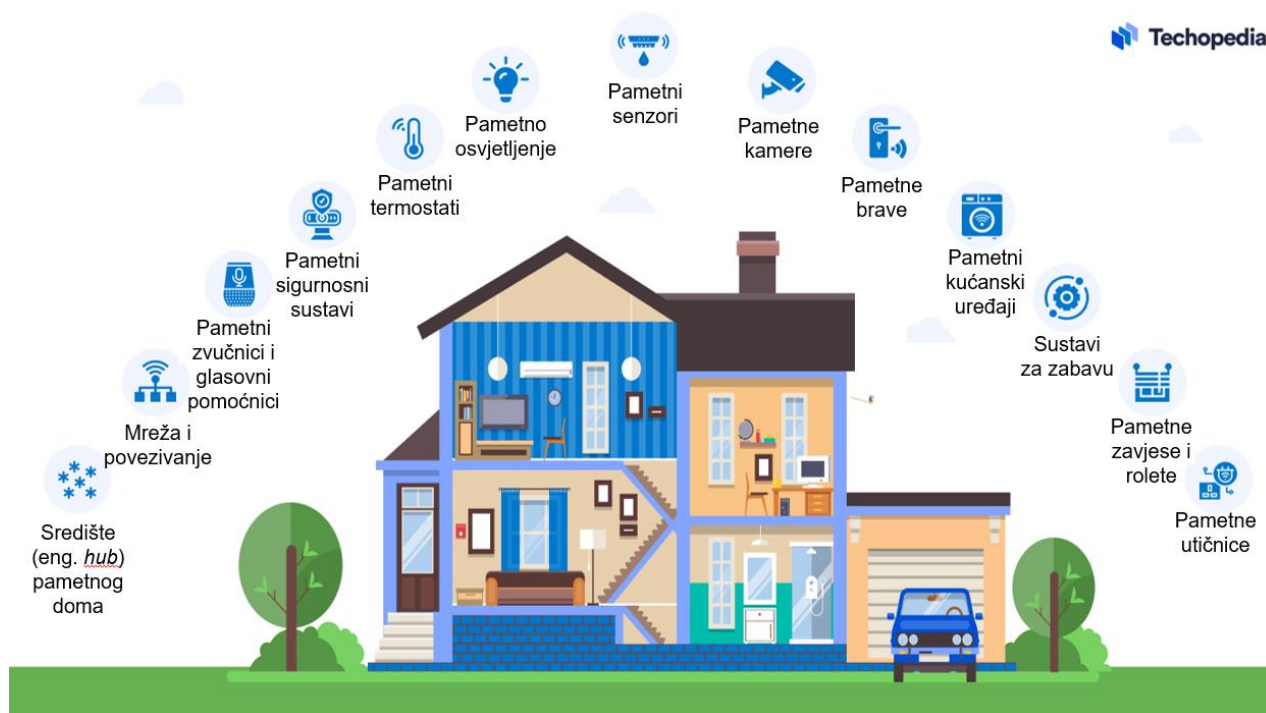
### **3.4. Primjena interneta stvari**

Internet stvari je promijenio i nastavlja mijenjati različita područja života i veliki broj industrija. Činjenica da mnogo raznovrsnih industrija danas ovisi o internetu stvari dokazuje koliko važnu ulogu internet stvari uistinu ima u modernome društvu. Primjena se interneta stvari može pronaći u: zdravstvu, vojnoj industriji, transportu i logistici, poljoprivredi, proizvodnji... Internet stvari može olakšati i privatne živote preko nosivih uređaja ili pametnih kuća, ali i utjecati na život zajednice kroz pametne gradove.

#### **3.4.1. Pametna kuća**

Ideja o pametnoj kući odnosno o pametnom domu (eng. *Smart home*) postojala je puno prije ideje o internetu stvari, ali je danas upravo internet stvari ključan za postojanje pametnih kuća. Pametna kuća podrazumijeva sustave i uređaje koji se mogu automatizirati te koji, naprimjer, mogu pratiti temperaturu ili količinu svjetla u prostoriji. U sklopu interneta stvari, uređaji pametne kuće su povezani na internet, što omogućuje njihovo nadziranje i upravljanje njima neovisno o lokaciji gdje se osoba nalazi (Malche i Maheshwary, 2017).

Malche i Maheshwary (2017) spominju četiri funkcije pametne kuće: upozoravanje, nadziranje, upravljanje i inteligencija. Upozoravanje znači da pametna kuća, ovisno o nekom parametru okoline, može obavijestiti vlasnika. Naprimjer, ako je temperatura u kući previsoka, vlasniku se šalje obavijest preko mobilne aplikacije. Autori nadziranje smatraju najvažnijom funkcijom jer ona predstavlja temelj za druge funkcije i donošenje odluka. Nadziranje označava da pametna kuća može pratiti okruženje preko raznovrsnih senzora ili kamera. Upravljanje se odnosi na mogućnost korisnika da upravlja različitim aktivnostima unutar kuće, bilo iz same kuće ili s neke druge lokacije, bilo automatizirano ili zakazano unaprijed. Inteligencija označava da je pametna kuća sposobna sama donositi odluke kao što je, naprimjer, automatsko pripremanje kave dok vlasnik uđe u kuću. Slika 2 prikazuje komponente koje čine pametnu kuću.



Slika 2: Pametna kuća (13 Essential Components of a Smart Home, 2023.)

Konkretno, pametna kuća može imati pametnu rasvjetu koja ima sposobnost automatskog uključivanja i isključivanja ovisno o vremenu, razini svjetlosti ili ulasku odnosno izlasku osobe iz prostorije. Pametna kuća može imati i pametni termostat za automatsko ili daljinsko upravljanje temperaturom u kući. Sustavi su sigurnosti također važan aspekt pametnih kuća. Oni mogu uključivati senzore pokreta ili kamere koje obavještavaju vlasnika, kamere s prijenosom uživo i dvosmjernom komunikacijom, pametne brave... U sklopu pametne kuće mogu postojati i raznovrsni pametni kućanski uređaji poput: pametnih hladnjaka, pametnih perilica za rublje ili pametnih aparata za kavu.

Pametne su kuće primjer kako internet stvari transformira i privatne živote. Integracijom interneta stvari, pametne kuće život čine jednostavnijim, udobnijim, sigurnijim te potencijalno i zelenijim smanjujući potrošnju energije u kući.

### 3.4.2. Pametni grad

Pametni grad je naziv za grad koji koristi informacijske i komunikacijske tehnologije u svrhu poboljšavanja gradskih usluga i života građana. U kontekstu pametnih gradova, internet stvari ima ključnu ulogu omogućujući razmjenu podataka između uređaja poput senzora ili vozila. Pametni gradovi očitane podatke poput kvalitete zraka često čine javno dostupnima. Uz

internet stvari, za pametne je gradove, između ostalog, važno i: računalstvo u oblaku, strojno učenje i umjetna inteligencija (Shea i Burns, 2020).

Medina i ostali (2017) pišu o pet domena pametnih gradova koje upotrebljuju internet stvari, a to su: ekologija, upravljanje prometom, školstvo, zdravstvo te energetika. Primjerice, u kontekstu ekologije, pametni grad koristi senzore za kontrolu kvalitete zraka i vode. Internet stvari također omogućuje građanima da prate vlastitu dnevnu potrošnju vode ili električne energije.

Prema Međunarodnom institutu za razvoj menadžmenta (eng. *International Institute for Management Development*), Singapur je peti najpametniji grad na svijetu, a prvi u Aziji. Primjer načina na koji se Singapur ističe kao pametan grad jest digitalizacija zdravstva na način da pacijenti imaju mogućnost razgovora s liječnicima preko video poziva. Pacijentima su dostupni i nosivi uređaji za praćenje zdravstvenog stanja (Lai, 2024).

Međutim, kako bi se vidjele realizacije ideja pametnog grada nije potrebno ići na drugi kraj svijeta. Kao dio zelene tranzicije, u Varaždinu su instalirane mjerne stanice za praćenje razine buke. Jedna od stanica ima i senzore za praćenje kvalitete zrake. Očitani podaci o razini buke su vidljivi građanima preko LED (eng. *Light-emitting diode*) zaslona, dok su podaci o kvaliteti zraka javno dostupni na mrežnoj stranici grada (Hrešč, 2022).

Integrirajući veliki broj različitih senzora i drugih uređaja u gradsku infrastrukturu, pametni gradovi predstavlja vrlo impresivan primjer primjene interneta stvari. Pametni gradovi koriste internet stvari za poboljšanje života velikog broja ljudi, za poboljšanje gradskih usluga te za unaprjeđivanje održivosti. S obzirom da se kod pametnih gradova veliki naglasak stavlja i na ekologiju kroz, primjerice, praćenje kvalitete vode ili zraka, vrlo je važno da sve više gradova prihvaća tehnologije pametnog grada. Pozitivna je vijest da takve prakse polako dolaze i u hrvatske gradove.

### **3.4.3. Industrijski internet stvari**

Industrijski internet stvari (eng. *Industrial internet of things* ili IIOT) jest naziv za internet stvari čija je svrha poboljšanje i optimizacija procesa proizvodnje i drugih industrijskih procesa. Sektori gdje se industrijski internet stvari može pronaći su: automobilska industrija, poljoprivreda, naftna i plinska industrija... Industrijski internet stvari je uglavnom u upotrebi u okruženjima gdje su greške u sustavima visokorizične i potencijalno opasne po život (Gillis, Posey, i Rosencrance, 2023). Industrijski internet stvari predstavlja jednu od tehnologija koje su od kritične važnosti za četvrtu industrijsku revoluciju. Industrija 4.0 odnosno četvrta industrijska revolucija ima za cilj uvesti samoodržavanje i samoupravljanje u tradicionalne industrije. Uz internet stvari, industrija 4.0 inkorporira i druge tehnologije poput računalstva u

oblaku ili kibernetičko-fizičkih sustava (eng. *Cyber-physical system* ili CPS). Prilagođavanjem i prihvaćanjem industrije 4.0 i interneta stvari, kompanije mogu: razviti interoperabilne, fleksibilne i prilagodljive proizvodne sustave, povećati produktivnost, poboljšati nadziranje i kontrolu procesa i imovine, smanjiti troškove i viškove...(Lampropoulos i ostali, 2019)

Činjenica da internet stvari ima ključnu ulogu u sljedećoj industrijskoj revolucija je dobar pokazatelj razine na kojoj internet stvari uistinu može transformirati industrije. Povezivanje raznovrsnih uređaja interneta stvari omogućuje nove načine optimizacije i automatizacije poslovnih procesa, ali ima i pozitivne utjecaje na druge segmente poslovanja, kao što su veća sigurnost za radnike ili manja potrošnja energije.

## 4. Arhitektura interneta stvari

Cilj je ovoga poglavlja, kroz opis arhitekture interneta stvari, stvoriti ideju o načinima dizajniranja i implementacije sustava interneta stvari. Najveći je naglasak stavljen na troslojnu arhitekturu jer je ona vrlo često spominjana u literaturi i jer su ostali modeli često nadogradnja troslojne arhitekture.

Troslojna arhitektura interneta stvari sastoji se od: percepcijskog, mrežnog i aplikacijskog sloja.

Percepcijski sloj, koji se u literaturi naziva još i sloj uređaja ili osjetilni sloj, predstavlja najniži sloj arhitekture te sadrži tehnologije za prikupljanje podataka, identifikaciju objekata, komunikaciju te aktuatora. Percepcijski se sloj može podijeliti na percepcijske čvorove i percepcijsku mrežu. Percepcijski su čvorovi pravi fizički uređaji poput: senzora, aktuatora ili kontrolera. Ovisno o svrsi, ti uređaji mogu služiti za prikupljanje podataka, identifikaciju te upravljanje podacima ili objektima. Percepcijska mreža dostavlja prikupljene podatke prema mrežnim pristupnicima (eng. *Gateway*) ili šalje kontrolne signale kontrolerima (Gupta i Quamara, 2018).

Mrežni sloj, nazivan i prijenosnim ili transportnim slojem, se nalazi između druga dva sloja. Svrha mu je prijenos prikupljenih podataka s percepcijskih čvorova do jedinica za obradu odnosno do jedinica za donošenje odluka. Ovaj se sloj dijeli na: pristupnu mrežu, jezgrenu mrežu te LAN (eng. *Local Area Network*) i WAN (eng. *Wide Area Network*). Svrha pristupne mreže je uspostava pristupnog okruženja za percepcijski sloj, dok jezgrena mreža dostavlja podatke do krajnjih korisnika koji su spojeni preko pristupne mreže (Gupta i Quamara, 2018).

Gornji i posljednji sloj jest aplikacijski sloj, odnosno jedini sloj koji je dostupan krajnjim korisnicima. Dijeli se na dva dijela: sloj za potporu aplikacijama te aplikacije interneta stvari. Sloj za potporu, između ostalog, obavlja obradu, filtriranje i kategoriziranje podataka. Prema izvoru, aplikacije interneta stvari se dijele na: aplikacije za prikupljanje informacija, aplikacije za analizu te aplikacije za donošenje odluka u stvarnome vremenu (Gupta i Quamara, 2018).

Tablica 1 prikazuje slojeve troslojne arhitekture prema Gupti i Quamaru (2018), zajedno s njihovim podslojevima te ključnim funkcionalnostima i tehnologijama.



Tablica 1: Troslojna arhitektura

Slojevi	Podslojevi	Ključne funkcionalnosti	Ključne tehnologije
Aplikacijski sloj	Aplikacije interneta stvari	Ručni uređaji, terminali i korisnička sučelja	Računalstvo u oblaku, međusloj (eng. <i>Middleware</i> ), M2M
	Sloj za potporu aplikacijama		
Mrežni sloj	LAN i WAN	Uspostavljanje povezanosti i prijenos podataka	Internet, GPRS, Wi-Fi, Ad hoc mreža
	Središnja mreža		
	Pristupna Mreža		
Percepcijski sloj	Percepcijska mreža	Senzorske, identifikacijske, aktuatorske i komunikacijske tehnologije	RFID, WSN, GPS, Bluetooth
	Percepcijski čvorovi		
Upravljanje mrežom	Upravljanje fizičkom i informacijskom sigurnošću	Upravljanje povjerenjem	

(Izvor: Gupta i Quamara, 2018)

Petoslojna arhitektura proširuje troslojnu arhitekturu dodavajući dva dodatna sloja; međusloj (eng. *Middleware*) i poslovni sloj. Zadaća međusloja jest obrada i pohrana velikih količina podataka koje prikuplja percepcijski sloj. Primjer tehnologije koja se može koristiti na ovome sloju jest računalstvo u magli (eng. *Fog computing*). Poslovni je sloj, između ostalog, zadužen za upotrebu prikupljenih podataka za poslovne analize, upravljanje poslovnim pravilima te donošenje poslovnih odluka. Kao teoretski primjer sustava koji koristi petoslojnu arhitekturu, neka se uzme sustav koji na percepcijskom sloju koristi mrežu senzora za očitavanje podataka o tlu, odnosno temperature i vlažnosti tla. Za komunikaciju između senzora i mrežnog pristupnika, sustav može, recimo, koristiti Bluetooth Low Energy, dok pristupnik za komunikaciju s ostatkom sustava koristi Wi-Fi. Prikupljeni se podaci šalju na čvor računalstva u magli koji pripada međusloju sustava. Na čvoru se obavlja privremena pohrana i predobrada podataka prije njihovog slanja na oblak. Kao aplikacijski sloj, postoji mrežna aplikacija koja korisnicima omogućava pregled arhive podataka, ali i podataka u stvarnome vremenu, a pruža i usluge različitih analiza prikupljenih podataka. Prikupljeni podaci korisnicima omogućuju i olakšavaju donošenje odluka kao što je, naprimjer, je li potrebno navodnjavanje tla, upravljanje rizicima, procjenu kvalitete tla, a svi ovi aspekti predstavljaju poslovni sloj sustava (Navani i ostali, 2017).

Uz ova dva, postoji još mnogo drugih modela arhitekture, kao što je, naprimjer, sedmeroslojna arhitektura. Stoga je kod odabira modela arhitekture ključno uzeti u obzir

specifične potrebe sustava koji se dizajnira, kako bi se odabrao onaj model koji najbolje odgovara tim zahtjevima.

## 5. Računalstvo u oblaku

U ovome se poglavlju razmatra definicija računalstva u oblaku te benefiti i nedostaci njegovog korištenja. Sagledana je važnost koju računalstvo u oblaku ima u kontekstu interneta stvari. U sklopu su poglavlja opisani i modeli implementacije te servisni modeli oblaka.

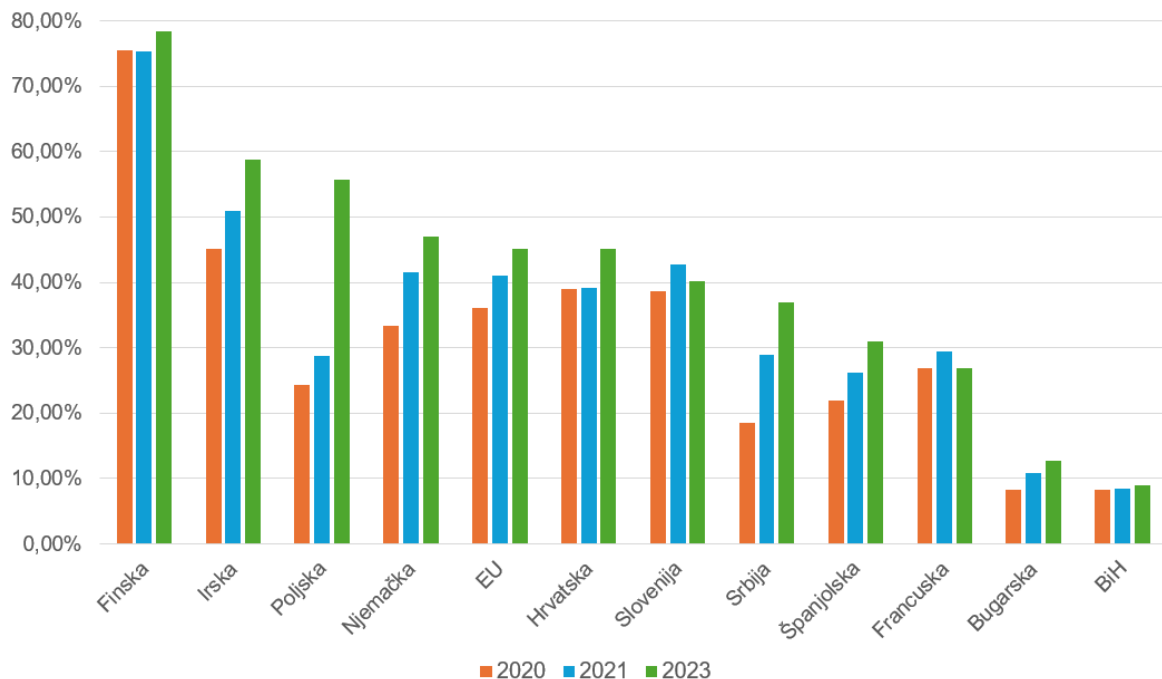
Marston i ostali (2011) definiraju računalstvo u oblaku kao model za pružanje IT (eng. *Information Technology*) usluga gdje se usluge pružaju na zahtjev preko interneta, neovisno o uređaju i lokaciji. Resursi, koji su potrebni za pružanje usluge na odgovarajućoj razini kvalitete, su dijeljeni, dinamički skalabilni, virtualizirani te brzo dostupni uz minimalnu interakciju krajnjeg korisnika.

Korištenje računalstva u oblaku sa sobom donosi mnoge benefite. Zahvaljujući računalstvu u oblaku, hardverski se resursi mogu vrlo brzo početi koristiti bez prethodnog nabavljanja i ulaganja u vlastiti hardver, što kompanijama omogućuje da brzo izađu na tržište. Računalstvo u oblaku može ukloniti mnoge prepreke koje mogu sprječavati inovacije, kao što je nedostatak inicijalno potrebne infrastrukture. Skalabilnost, koju pruža računalstvo u oblaku, kompanijama olakšava širenje i sužavanje vlastitog poslovanja (Marston i ostali, 2011). Kao prednosti računalstva u oblaku, Mirashe i Kalyankar (2010), između ostalog, navode i: manje problema s održavanjem, poboljšanu kompatibilnost te olakšanu suradnju u timovima.

U kontekstu interneta stvari, oblak predstavlja način skalabilne pohrane velikih količina podataka koje internet stvari prikuplja. Naknadno, centralizirana pohrana podataka u oblaku omogućava pristup podacima od bilo kuda. Oblak omogućava nadziranje prikupljanja podataka u stvarnom vremenu te konfiguriranje i upravljanje uređajima interneta stvari. U oblaku se može provoditi obrada prikupljenih podataka te izvršavanje kompleksnih algoritama za analizu podataka. Oblak može pružati i usluge umjetne inteligencije (eng. *Artificial intelligence* ili AI) i strojnog učenja (eng. *Machine learning*) omogućujući nove razine analize podataka. Enkripcijom podataka te metodama za autentifikaciju i kontrolu pristupa, oblak može pozitivno utjecati i na sigurnost sustava interneta stvari (Mohapatra, 2023).

Iako je računalstvo u oblaku jedna od ključnih tehnologija za internet stvari, s njime dolaze i određeni izazovi. Za sustave koji zahtijevaju vrlo brze odgovore, latencija oblaka predstavlja problem koja, primjerice, može biti izazvana velikom geografskom udaljenošću oblaka. Za prijenos i primanje podataka, računalstvo u oblaku zahtjeva perzistentnu i snažnu vezu koja nije prisutna u svim mrežama. Pošto, od senzora do samog oblaka, podaci moraju proći kroz veliki broj mrežnih komponenti, povećani su rizici sigurnosti i privatnosti podataka (Naveen i Kounte, 2019).

Slika 3 prikazuje udjele poduzeća u europskim državama koja imaju 10 ili više zaposlenika, a koja koriste usluge računalstva u oblaku u svome poslovanju, prema Eurostatu (2023). Može se primijetiti da je za većinu prikazanih država upotreba usluga računalstva u oblaku u rastu, što se može protumačiti na način da sve više poduzeća zaključuje da usluge računalstva u oblaku olakšavaju i poboljšavaju aspekte poslovanja. Zanimljivo je primijetiti da ni Hrvatska puno ne kaska za drugim državama članicama Europske Unije te se nalazi malo ispod prosjeka.



Slika 3: Poduzeća koja koriste usluge računalstva u oblaku prema Eurostatu (2023)

Pružajući skalabilne resurse za pohranu i obradu, računalstvo u oblaku danas je tehnologija od kritične važnosti za sustave interneta stvari. Osim u kontekstu interneta stvari, podaci nedavnih istraživanja pokazuju da su usluge računalstva u oblaku primjenjive, korisne i sve popularnije za mnoga poduzeća, neovisno o području poslovanja.

## 5.1. Modeli implementacije računalstva u oblaku

Kada se govori o modelu implementacije računalstva u oblaku, misli se na to gdje se nalazi infrastruktura oblaka te tko upravlja njome. Postoje četiri modela implementacije, a oni su: privatni, javni, hibridni te zajednički oblak.

Privatni oblak jest oblak koji pripada određenom poduzeću koje jedino može koristiti njegove usluge. Iako privatni oblak može posluživati i treća strana, najčešći je slučaj u kojemu

poduzeće posjeduje i upravlja vlastitom infrastrukturom oblaka (eng. *On-premise private cloud*) u sklopu vlastitog podatkovnog centra. Prednosti privatnog oblaka su: bolja sigurnost, veća kontrola te veća razina prilagodljivosti potrebama poduzeća (Diaby i Bashari Rad, 2017).

Javni oblak pripada i upravljan je od treće strane. Njegove su usluge javno dostupne. Adekvatan je za korištenje za sve vrste poduzeća; od malih do vrlo velikih. Ako koristite usluge javnog oblaka, korisnici se ne moraju brinuti o nabavljanju, postavljanju i održavanju vlastitog hardvera. Karakterizira ga PAYG (eng. *Pay-As-You-Go*) model plaćanja gdje korisnici plaćaju samo one usluge i resurse koje su koristili (Diaby i Bashari Rad, 2017).

Hibridni oblak predstavlja kombinaciju javnog i privatnog oblaka. Hibridni oblak obično počinje kao privatni oblak, koji se kasnije proširuje integracijom usluga javnog oblaka. Hibridni oblak, naprimjer, mogu koristiti poduzeća koja žele osjetljive podatke pohranjivati na privatnom oblaku ili poduzeća koja koriste usluge javnog oblaka za proširenje vlastitih kapaciteta u određenim vremenskim periodima (Patel i Kansara, 2021). Slika 4 prikazuje usporedbu različitih prednosti i nedostataka javnog, privatnog i hibridnog oblaka.

 <b>Javni oblak</b>	 <b>Hibridni oblak</b>	 <b>Privatni oblak</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li> Servisi su u vlasništvu treće strane koja njima i upravlja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Kombinacija javnog i privatnog oblaka, nazivan „najboljim od oba svijeta“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Namijenjen jednoj organizaciji</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> Održavanje obavlja pružatelj usluga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Veća fleksibilnost i više opcija implementacije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Veća sigurnost jer resursi nisu dijeljeni</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> Manji troškovi postavljanja i rada zbog PAYG modela</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Moguć je rasprskavajući oblak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Veća fleksibilnost i kontrola nad oblakom</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> Manja sigurnost zbog dijeljenja platforme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Kompleksnosti mreže i problemi s usklađenošću</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Troškovi kupnje i održavanja padaju na organizaciju</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li> Manje fleksibilnosti i kontrole nad oblakom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Može biti vrlo skup</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Skuplje od javnog oblaka</li> </ul>

Slika 4: Usporedba modela implementacija računalstva u oblaku (Difference Between Private Cloud and Public Cloud, bez dat.)

Zajednički oblak je naziv za oblak koje je upravljani i korišten od strane više organizacija koji imaju slične zahtjeve, projekte ili područja djelovanja. Akademski oblak je primjer zajedničkog oblaka (Diaby i Bashari Rad, 2017).

Svaki od modela implementacije računalstva u oblaku ima vlastite određene prednosti i nedostatke. Javni je oblak jeftina opcija, ali korisnici imaju ograničenu kontrolu nad oblakom. Privatni oblak sa sobom nosi više fleksibilnosti i sigurnosti, ali je skup te zahtjeva održavanje. Hibridni oblak kombinira benefite privatnog i javnog oblaka, ali je skup i kompleksan. Kod odabira modela, potrebno je dobro se upoznati sa svakim od njih kako bi se odabrao onaj koji najbolje odgovara specifičnim zahtjevima, ali i dostupnim resursima.

## 5.2. Servisni modeli računalstva u oblaku

Tri najpoznatija i najzastupljenija servisna modela u računalstvu u oblaku su: infrastruktura kao usluga (eng. *Infrastructure as a service* ili IaaS), platforma kao usluga (eng. *Platform as a service* ili PaaS) te softver kao usluga (eng. *Software as a service* ili SaaS).

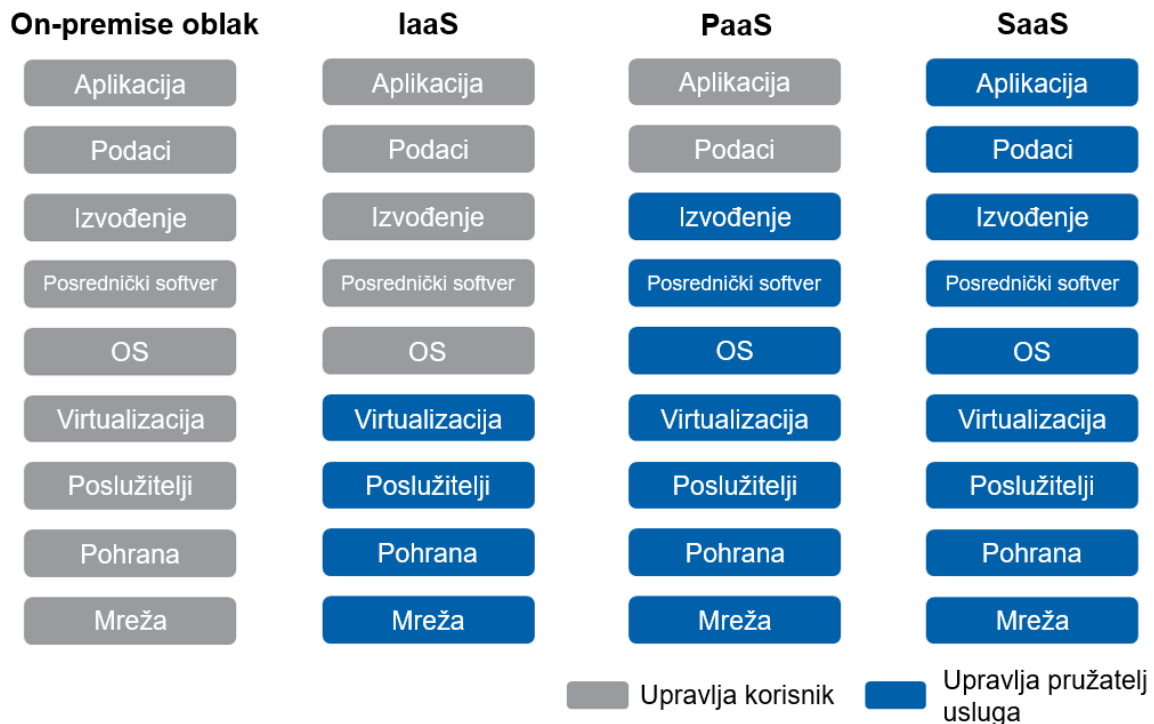
IaaS krajnjim korisnicima nudi usluge za kreiranje, uništavanje i upravljanje virtualnim resursima poput pohrane ili poslužitelja putem interneta. S jedne se strane korisnik ne mora brinuti o upravljanju fizičkom infrastrukturom jer to radi pružatelj usluga, dok s druge strane može upravljati konfiguracijom, operacijskim sustavom i softverom na virtualnim strojevima (Gibson i ostali, 2012). Upotreba IaaS modela je prikladna za korisnike koji ne žele ulagati u nabavu i održavanje vlastite infrastrukture ili koji rade na privremenim ili promjenjivim projektima. Negativne strane IaaS modela su manjak uvida u konfiguraciju i performanse infrastrukture te ovisnost o pružatelju usluga. Najveće platforme koje pružaju infrastrukturu kao uslugu su: AWS, Google Cloud Platform i Microsoft Azure (Boisvert i ostali, 2022).

PaaS programerima omogućava razvoj softvera bez postavljanja i konfiguriranja okruženja za razvoj. Završetkom razvoja, softver može biti dostupan korisnicima preko interneta. Pošto PaaS za temelj ima IaaS, pruža iste benefite kao i IaaS, poput virtualizacije hardvera ili malih troškova ulaganja. Zbog različitih programskih jezika, vrsta baza podataka, API-ja (eng. *Application Programming Interface*) i drugih karakteristika različitih pružatelja platforme kao usluge, potrebno je biti vrlo oprezan kod inicijalnog biranja pružatelja jer je njegovo naknadno mijenjanje tijekom razvoja problematično. Primjer pružatelja platforme kao usluge jest Google App Engine (Gibson i ostali, 2012).

SaaS omogućuje korisnicima pristup softveru koji se nalazi u oblaku, primjerice, preko web preglednika. Za krajnje korisnike, SaaS smanjuje zahtjeve hardverskih performansi te omogućuje korištenje softvera bez prethodne instalacije na korisnikov uređaj. Za pružatelje

usluga, SaaS omogućuje centralizirano upravljanje, održavanje i isporuku softvera (Gibson i ostali, 2012). Google Workspace i Microsoft Office 365 su primjeri softvera kao usluge.

Slika 2 prikazuje usporedbi tri servisna modela i *on-premise* oblaka ovisno o tome čime upravlja korisnika, a čime pružatelj usluga.



Slika 5: Usporedba servisnih modela računalstva u oblaku (Split of Responsibilities for Each Type of Cloud Computing Service, 2020.)

Zaključno, tri različita servisna modela računalstva u oblaku zadovoljavaju različite potrebe korisnika. IaaS pruža programerima pruža viši stupanj fleksibilnost omogućujući im da, između ostalog, upravljaju virtualnim strojevima i operacijskim sustavima na njima. PaaS programerima pruža platformu za razvoj aplikacija, a da se pritom ne moraju brinuti o infrastrukturi. SaaS krajnjim korisnicima nudi gotove aplikacije kojima se najčešće pristupa preko preglednika.

## 6. Uređaji interneta stvari

Ovo poglavlje razmatra što uređaje čini uređajima interneta stvari te što znači upravljanje njima. U podpoglavljima dan je detaljan pregled različitih vrsta senzora i aktuatora i njihovih primjena te komunikacijskih tehnologija koje se koriste u internetu stvari.

Prema međunarodnoj telekomunikacijskoj uniji (Međunarodna telekomunikacijska unija, 2012), uređaji interneta stvari opisani su kao oprema koja obavezno ima sposobnost komunikacije, a može biti dodatno opremljena senzorskim i aktuatorskim sposobnostima te sposobnostima pohrane i obrade. Skup uređaja interneta stvari prilično je raznolik; od nosivih uređaja poput pametnih satova do senzora za praćenje strojeva u industrijskim okruženjima.

Uređaji se interneta stvari, osim općenito, mogu jako razlikovati i unutar pojedinačnih sustava. Primjerice, unutar pametne kuće u kojoj se povezuje puno uređaja različitih karakteristika i proizvođača. Zbog raznovrsnosti uređaja, nastaje izazov interoperabilnosti. Uz interoperabilnost, kod uređaja se interneta stvari kao izazov, između ostalog, pojavljuju i: sigurnost, skalabilnost i dostupnost. Za suočavanje s ovim izazovima, ali i za upravljanje cjelokupnim životnim ciklusom uređaja, može se primijeniti upravljanje uređajima interneta stvari (eng. *Internet of things device management*). Slika 6 prikazuje proces upravljanja uređajima interneta stvari. Između ostalog, upravljanje uređajima interneta stvari uključuje: registraciju i autentifikaciju uređaja, konfiguraciju, održavanje te nadziranje i dijagnostiku. Usluge upravljanja uređajima interneta stvari nude pružatelji usluga u oblaku kao što su: AWS, Google Cloud ili Microsoft Azure (Gillis, Posey, i Shea, 2023).



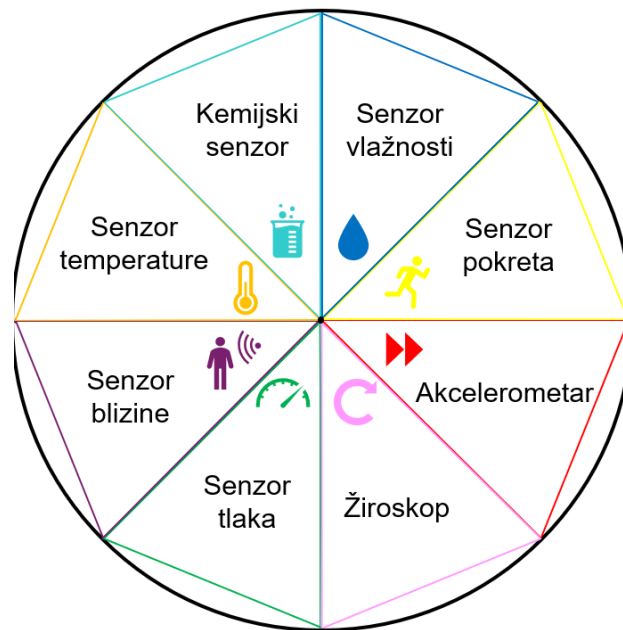
Slika 6: Proces upravljanja uređajima interneta stvari (IoT device management process, 2023.)

S obzirom na već spomenutu veliku raznolikost uređaja interneta stvari, u nastavku se sagledavaju različite vrste senzora i aktuatora koji mogu biti dio uređaja interneta stvari te komunikacijske tehnologije koje koriste, s ciljem njihove sistematizacije po tim kriterijima.



## 6.1. Senzorske mogućnosti

Senzor se može definirati kao uređaj koji detektira podražaj ili mjeri određenu fizikalnu veličinu koje zatim pretvara u signal. Neke od važnih karakteristika senzora su preciznost kojom očitavaju fizikalnu veličinu te raspon vrijednosti koje mogu očitati (Ramachandran, 2018). Slika 7 prikazuje dio velike raznolikosti senzora koji se često koriste u domeni interneta stvari.



Slika 7: Vrste senzora

Senzori temperature mogu mjeriti temperaturu svoje okoline ili objekta. Primjerice, senzori se temperature mogu primjenjivati u sklopu pametnih termostata u pametnim kućama za nadziranje i kontrolu temperature unutar kuće. U poljoprivredi se mogu koristiti za praćenje temperature tla, dok se u proizvodnji mogu koristiti za nadziranje temperature strojeva.

Senzor blizine omogućava detekciju objekta bez fizičkog kontakta s objektom. Senzor emitira elektromagnetsku radijaciju te traži promjene u povratnom signalu kako bi detektirao objekt. Senzori blizine se, naprimjer, koriste u sustavima za parkiranje automobila, za brojanje objekata ili za izbjegavanje sudara (Sehrawat i Gill, 2019).

Senzori se pokreta često koriste u sustavima za sigurnost. Detekcijom pokreta od strane senzora, sigurnosna kamera započinje snimanje te pohranjuje snimljeni video (Sehrawat i Gill, 2019). Ovi se senzori također koriste i za automatizaciju uključivanja osvjetljenja.

Senzori se tlaka koriste za mjerenje tlaka plinova ili tekućina. Očitane vrijednosti tlaka mogu poslužiti i za određivanje visine na temelju tlaka zraka (Sehrawat i Gill, 2019). Koriste se u sklopu meteoroloških stanica, u medicinske svrhe za praćenje krvnog tlaka, za praćenje tlaka u automobilskim gumama...

Senzori vlažnosti koriste se za mjerenje količine vodene pare u zraku. Ovi su senzori važni u proizvodnim pogonima i skladištima gdje vlažnost zraka može utjecati na strojeve i proizvode. Podaci prikupljeni od strane senzora vlažnosti su važni i za poljoprivredu i meteorologiju (Ramachandran, 2018).

Žiroskop omogućuje detekciju promjene nagiba mjereći kutnu brzinu. Često se primjenjuje u robotici i industrijskoj automatizaciji (Sehrawat i Gill, 2019). Akcelerometar omogućuje mjerenje ubrzanja. Koristi se, primjerice, za implementaciju pedometra, odnosno brojača koraka, te za detekciju vibracija (Ramachandran, 2018).

Uz spomenute, Sehrawat i Gill (2019) razlikuju još nekoliko vrsta senzora poput: kemijskih senzora koji se, naprimjer, koriste za kontrolu kvalitete zraka, optičkih senzora za detekciju svjetla ili infracrvenih senzora koji mogu mjeriti toplinsko zračenje.

Zaključno, velika raznolikost senzora omogućuje uređajima da svoju okolinu spoznaju na visokoj razini. Ovi senzori, bilo da se koriste pojedinačno ili u kombinaciji, omogućuju sustave interneta stvari koji su postali integralan dio normalnog funkcioniranja modernog društva.

## **6.2. Aktuatorske mogućnosti**

Aktuator je uređaj koji, aktiviran od strane električnog signala, pretvara energiju u kretnju. Za razliku od senzora, koji omogućava prikupljanje podataka o okolini pretvarajući fizikalnu veličinu u signal, aktuator, aktiviran signalom, omogućuje interakciju s okolinom. Aktuator aktivacijske signale u pravilu dobiva na temelju podataka očitanih od strane senzora. Primjerice, nakon što senzor detektira pokret, aktivira se aktuator, što rezultira otvaranjem kliznih vrata ili pokretanjem pokretnih stepenica. (IEEE, 2024).

Ovisno o izvoru energije, aktuatori se dijele na: hidrauličke, pneumatske, električne, termalne i magnetske. Hidraulički aktuator može raditi linearne, kružne i oscilatorne kretnje (IEEE, 2024). Ovi aktuatori mogu raditi vrlo brze kretnje s puno sile, zbog čega se često koriste u građevini i proizvodnji, ali zahtijevaju puno održavanja (Pratt, 2022). Pneumatski aktuatori koriste vakuum ili zrak pod visokim tlakom za kreiranje rotacijske ili linearne kretnje (Arshi i Mondal, 2023). Pneumatski su aktuatori izdržljivi, zahtijevaju manje održavanja, mogu raditi pri vrlo visokim temperaturama te mogu brzo zaustaviti i započeti kretnje. Električni aktuatori pretvaraju električnu energiju u mehaničku. Električni aktuatori su tiši od drugih vrsta aktuatora,

a karakterizira ih i visoki stupanj preciznosti. S druge strane, skuplji su od hidrauličkih i pneumatskih aktuatora te nisu adekvatni za rad u ekstremnijim uvjetima (Pratt, 2022). Termalni aktuatori sadrže materijal koji je osjetljiv na toplinu te koriste promjenu temperature za linearne kretnje. Često se koriste za zatvaranje ventila ili za upravljanje prekidačima. Magnetski aktuator pretvara elektromagnetsku energiju u linearne ili kružne kretnje. Često se koriste, primjerice, u automobilske industriji za kontinuirane mehaničke radnje (Arshi i Mondal, 2023).

Aktuatori predstavljaju integralan dio interneta stvari. Njihova sposobnost da pretvaraju različite vrste energije u mehaničku kretnju omogućuje široku primjenu, od automatizacije i robotike do pametnih kuća. Različite vrste aktuatora omogućuju fleksibilnost u dizajnu i implementaciji sustava interneta stvari pružajući prilike za prilagodbu specifičnim potrebama i uvjetima rada.

### 6.3. Komunikacijske tehnologije

Komunikacijske tehnologije omogućuju komunikaciju i razmjenu podataka između uređaja interneta stvari te imaju kritičnu ulogu za njegovo funkcioniranje i razvoj. Spektar komunikacijskih tehnologija koje se koriste u internetu stvari je širok te obuhvaća tehnologije koje nas svakodnevno okružuju, poput Wi-Fija i Bluetootha, ali i tehnologije koje su manje poznate izvan konteksta interneta stvari, poput ZigBeeja i 6LoWPAN-a. Različiti sustavi interneta stvari imaju različite zahtjeve kada su u pitanju komunikacijske tehnologije, kao što su: potrošnja energije, brzina prijenosa i domet. Tablica 2 sadrži usporedbu jednog djela komunikacijskih tehnologija koje koriste uređaji interneta stvari.

Tablica 2: Usporedba komunikacijskih tehnologija

Tehnologija	Potrošnja energije	Brzina prijenosa	Domet	Frekvencija
Bluetooth Low Energy	10 mW	1 Mb/s	50 m	2.4 GHz
ZigBee	Vrlo niska	250 kb/s	100 m	2.4 GHz
Z-Wave	Vrlo niska	100 kb/s	30 m	908.42 MHz
6LoWPAN	Vrlo niska	250 kb/s	10-100 m	2.4 GHz
Wi-Fi	Visoka	100-250 Mb/s	100 m	2.4 / 5 GHz
LoRa / LoRaWAN	Visoka	27 kb/s	10 km	865-925 MHz
WiMAX	-	70 Mb/s	50 km	2–11 GHz

(Izvor: Kumar i ostali, 2020)

U nastavku su detaljnije opisane karakteristike, prednosti, nedostaci i primjena u internetu stvari Wi-Fija i Bluetootha, koji predstavljaju opće poznate tehnologije, te ZigBeeja, tehnologije često korištene od strane uređaja interneta stvari.

### 6.3.1.Wi-Fi

Wi-Fi koristi radio valove za bežičan prijenos podataka te podržava dvije frekvencije: 2.4 i 5 GHz (Lohnes, 2017). Wi-Fi je danas vrlo raširen; prisutan je i u domovima i u poslovnim prostorima te je postao dio svakodnevnog života, a koristi se i u sklopu interneta stvari, primjerice, za povezivanje uređaja u pametnoj kući. Velika brzina prijenosa predstavlja jednu od glavnih prednost Wi-Fija. Također, uz najčešće korišteni IEEE 802.11n, za Wi-Fi postoji i više standarda, što pruža određeni stupanj fleksibilnosti kod dizajniranja sustava. Međutim, kada je u pitanju Wi-Fi, jedan od najvećih problema, koji sprječava njegovu širu upotrebu u domeni interneta stvari, jest potrošnja energije (Pratt, 2023). Visoka potrošnja energije predstavlja veliki problem kada su u pitanju uređaji koji rade na baterije, što je česti slučaj kod interneta stvari, naprimjer, u bežičnim senzorskim mrežama (eng. *Wireless sensor network* ili WSN). Postoji mogućnost da će daljnji tehnološki napredak smanjiti potrošnju energije Wi-Fi uređaja omogućujući da Wi-Fi pronađe širu upotrebu te da se njegove prednosti iskoriste na višoj razini u kontekstu interneta stvari.

### 6.3.2.Bluetooth

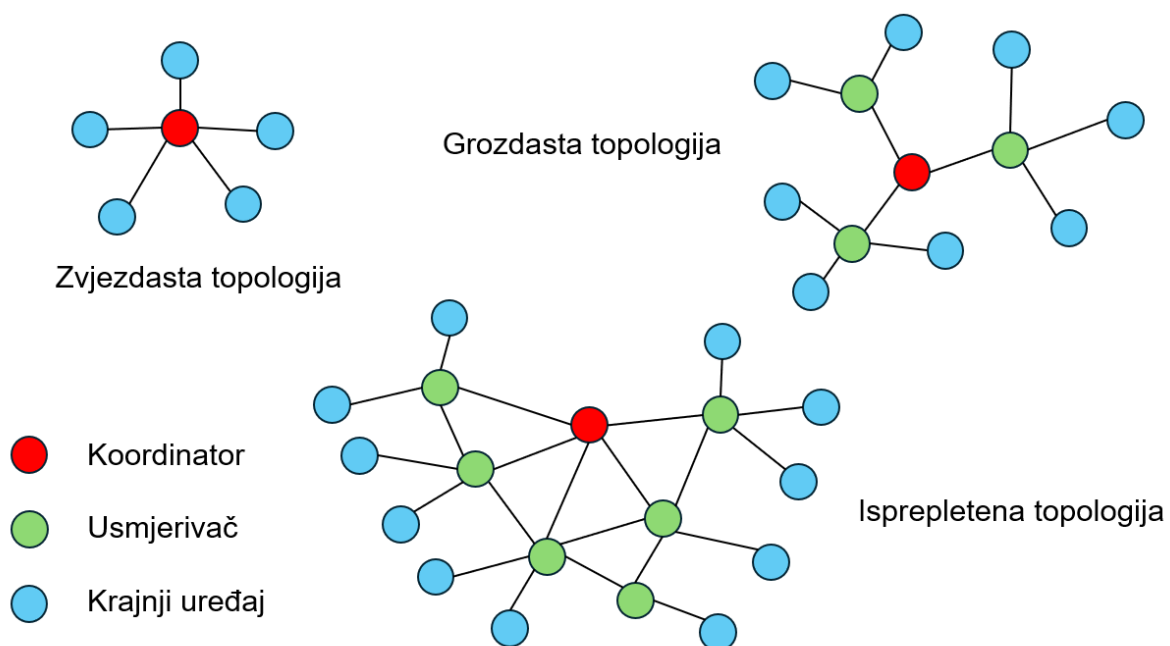
Bluetooth omogućuje bežičnu komunikaciju na frekvencijama od 2.4 do 2.485 GHz. Korištenjem Bluetootha, moguća je razmjena podataka unutar 100 metara (Stiller i ostali, 2021). Bluetooth mreža, takozvani *piconet*, omogućuje aktivnu komunikaciju između maksimalno 8 uređaja. U ovoj mreži, jedan uređaj (eng. *Master*) upravlja komunikacijom, dok drugi uređaji (eng. *Slave*) od njega mogu zatražiti ili mu slati podatke (Lonzetta i ostali, 2018).

Kada je riječ o internetu stvari, najčešće se koristi BLE (eng. *Bluetooth Low Energy*) inačica Bluetootha. BLE, koji je poznat i kao Bluetooth Smart, kao što mu i samo ime govori, jest energetska učinkovita verzija Bluetootha, što je u kontekstu interneta stvari od kritične važnosti. Naprimjer, BLE se može koristiti za povezivanje nosivih uređaja i pametnog telefona. Nosivi uređaji poput pametnog sata sakupljaju podatke o zdravlju ili aktivnosti osobe koja ih nosi te ih šalju na pametni telefon gdje se podaci mogu pregledavati. Vrlo niska potrošnja energije čini BLE odličnim rješenjem za komunikaciju kraćeg dometa u sustavima interneta stvari. Novija BLE v5.0 verzija može imati domet i do 200 metara na otvorenom te pruža bolju potporu za uređaje interneta stvari, veću brzinu prijenosa te još manju potrošnju energije u odnosu na prijašnje verzije (Al-Shareeda i ostali, 2023). Bluetooth je već sada vrlo zastupljen i popularan

u rješenjima interneta stvari, a, s obzirom na napredak i unaprjeđivanje same tehnologije, njegova će upotreba vjerojatno postati još šira i raznovrsnija.

### 6.3.3. ZigBee

ZigBee je tehnologija za bežičnu komunikaciju kratkog dometa. ZigBee karakterizira niska potrošnja energije, što ga čini dobrim izborom za uređaje na baterije. S druge strane, ima nisku maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 250 kb/s. U ZigBee mreži postoje tri vrste čvorova: koordinator, usmjerivač i krajnji uređaj. Koordinator upravlja mrežom, usmjerivači usmjeravaju mrežni promet, pri čemu svaki uređaj može biti usmjerivač, a krajnji uređaji šalju ili primaju podatke od roditeljskog čvora, odnosno od usmjerivača ili koordinatora. Slika 8 prikazuje tri mrežne topologije koje ZigBee podržava, a one su: zvjezdasta (eng. *Star*), grozdasta (eng. *Cluster Tree*) i isprepletana (eng. *Mesh*). Od ove tri, posebno je interesantna isprepletana mreža. U isprepletanoj mreži postoji više puteva između uređaja po kojima oni mogu komunicirati, što povećava pouzdanost, ali i domet mreže (Komilov, 2023).



Slika 8: Topologije ZigBee mreža prema Komilovu (2023)

Uređaji u ZigBee mreži imaju jedinstvene adrese po kojima mogu biti identificirani, što povećava sigurnost štiteći od neautoriziranog pristupa mreži. Dodatne prednosti ZigBee tehnologije su: niska latencija, skalabilnost i jednostavno korištenje. U sklopu interneta stvari, ZigBee je često korišten način komunikacije. Naprimjer, koristi se u pametnim kućama, u

bežičnim senzorskim mrežama, u industrijskim upravljačkim sustavima te u zdravstvu za povezivanje medicinskih uređaja (Komilov, 2023).

ZigBee predstavlja jednu od vrlo važnih tehnologija za komunikaciju u domeni interneta stvari. Unatoč nedostacima poput kraćeg dometa i sporijeg prijenosa podataka, ZigBee pruža mnoge benefite, od kojih je posebno važna niska potrošnja energije, zbog kojih se danas često koristi.

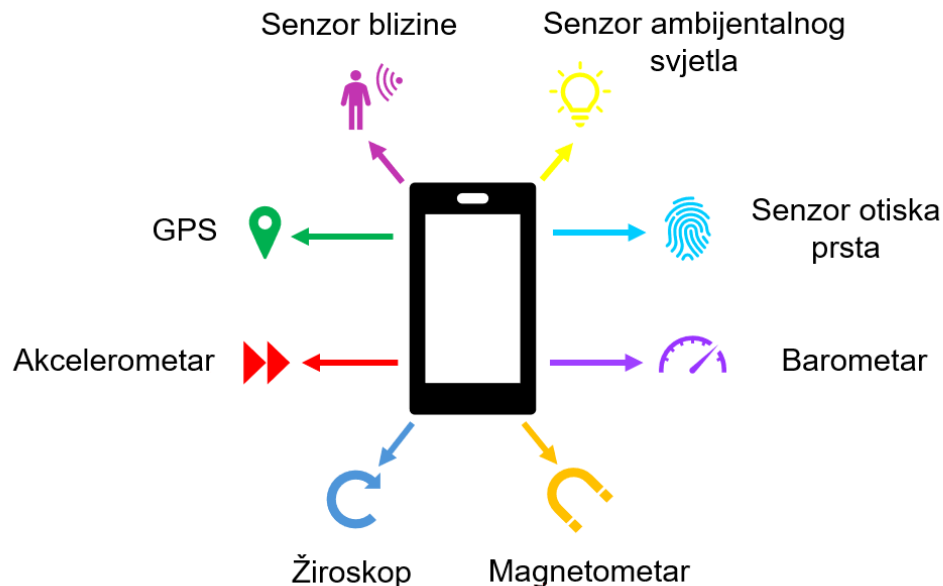
## 7. Mobilni uređaji u kontekstu interneta stvari

Cilj je ovog poglavlja pružiti detaljan uvid u postojeću i potencijalnu ulogu mobilnih uređaja u internetu stvari. Sagledane su neke komunikacijske tehnologije koje koriste najnoviji modeli mobilnih uređaja. Pružen je detaljan uvid u senzore integrirane u moderne mobilne uređaje te njihove primjene. Na kraju se razmatraju različite uloge koje mobilni uređaji mogu obavljati u sustavima interneta stvari. U nastavku, kada se spomene mobilni uređaj, misli se na pametni telefon.

Mobilni su uređaji danas dio svakodnevnice te je velikom broju ljudi život nezamisliv bez njih. Mobilni uređaji predstavljaju način za pristup prije nezamislivim količinama podataka koji stane u džep. Međutim, što mobilne uređaje čini „pametnima“? Prema Silverio-Fernándezu i ostalima (2018), pametne uređaje karakteriziraju: autonomnost, mogućnost povezivanja i svjesnost o kontekstu. Autonomnost označava da uređaj može izvršavati određene zadatke bez direktne naredbe korisnika, kao što su pozadinski servisi kod mobilnih uređaja. Moderni mobilni uređaji imaju više načina povezivanja kao što su Wi-Fi i Bluetooth. Svjesnost o kontekstu opisuje mogućnost uređaja da prikuplja podatke o svojoj okolini, što mobilni uređaji mogu zahvaljujući različitim senzorima kojima su opremljeni. Drugi autori kao karakteristike pametnih uređaja navode i korisničku interakciju te mobilnost, odnosno karakteristike kojima se sigurno mogu opisati i mobilni uređaji.

Već je spomenuto da mobilni uređaji imaju širok raspon načina za povezivanje koji im omogućuju komunikaciju s drugim uređajima ili pristup internetu. Za svaki se moderni mobilni uređaj podrazumijeva da ima mogućnost spajanja na internet preko Wi-Fija ili mobilne mreže te mogućnost komunikacije s drugim uređajima preko Bluetootha ili žičane USB veze. Međutim, ako se pogleda jedan od trenutno popularnih pametnih telefona, Samsung Galaxy S24 Ultra, njegov skup komunikacijskih tehnologija sadrži još i: Wi-Fi Direct, NFC (eng. *Near Field Communication*) i UWB (eng. *Ultra-wideband*) (Samsung, 2024.). Wi-Fi Direct se koristi za kreiranje Wi-Fi mreže dva ili više uređaja bez povezivanja na internet. Može se, naprimjer, koristiti za kontroliranje pisača preko pametnog telefona (Wi-Fi Alliance, 2024.). UWB omogućuje bežičnu komunikaciju unutar kratkog dometa koristeći radio valove vrlo visokih frekvencija. Vrlo visoke frekvencije UWB-u omogućuju vrlo precizno lociranje uređaja. Primjer upotrebe UWB-a jest traženje izgubljenih predmeta ili automatsko otvaranje garažnih vrata kada im se približi automobil (Stone, 2021). NFC je tehnologija za bežičnu komunikaciju vrlo kratkog dometa, obično do 4 cm (Google, 2024c). Često se koristi za beskontaktno plaćanje pametnim telefonom.

Uz veliki broj korištenih komunikacijskih tehnologija, moderni mobilni uređaji imaju i veliki broj ugrađenih senzora. Slika 9 prikazuje senzore koji su najčešće prisutni u mobilnim uređajima.

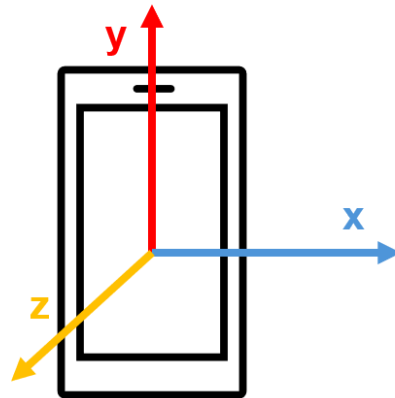


Slika 9: Senzori mobilnog uređaja

Akcelerometar mjeri ubrzanje mobilnog uređaja po trima osima koje su prikazane na slici 10. Može se koristiti za praćenje aktivnosti, primjerice, za detektiranje kada je korisnik prestao s trčanjem. Žiroskop može detektirati promjene u nagibu mobilnog uređaja po trima osima, kao i akcelerometar. Žiroskop se koristi kod automatskog zakretanja zaslona, a može se koristiti i za davanje inputa pomicanjem uređaja, naprimjer, u trkaćim igrama (Su i ostali, 2014). Magnetometar može detektirati jačinu magnetskog polja te se koristi u svrhe navigacije, odnosno kompasa. Podaci o tlaku zraka, koje očitava barometar, koriste se za računanje visine te za praćenje vremenskih promjena (Krichen, 2021). Barometar ne dolazi u sklopu svakog mobilnog uređaja, ali ga noviji modeli, poput iPhonea 15 Pro (Apple, 2024.), imaju često ugrađenog. Sensor blizine koristi se za detekciju kada je mobilni uređaj prislonjen uz korisnikovo lice tijekom telefonskih razgovora s ciljem isključivanja zaslona uređaja zbog štednje energije i zaštite od neželjenih i slučajnih dodira po zaslonu. Sensor ambijentalnog svjetla mjeri jačinu osvjetljenja u okruženju kako bi mobilni uređaj mogao automatski podesiti svjetlinu zaslona. Sensor otiska prsta koristi za biometrijsku autentifikaciju korisnika. Ovaj je sensor jako koristan za aplikacije koje zahtijevaju visoki stupanj sigurnosti, kao što su bankarske aplikacije (Krichen, 2021). Iako ga mnogi autori svrstavaju među senzore, u mobilnim se uređajima zapravo nalazi GPS (eng *Global Positioning System*) prijamnik. GPS



prijamnik, koristeći triangulaciju, računa svoju udaljenost od satelita analizirajući vrijeme koje je potrebno da primi njihov signal. Kako bi se poboljšala preciznost, kod određivanja se lokacije mogu koristiti i podaci očitani od strane akcelerometra, žiroskopa i magnetometra (Sarmadi i ostali, 2023). Kamera i mikroskop također spadaju u načine na koje mobilni uređaji mogu prikupljati podatke o svome okruženju.



Slika 10: Osi mobilnog uređaja

Uz opisane, određeni pametni telefoni dolaze s dodatnim sensorima koji se možda još ne smatraju standardnom opremom. Primjerice, senzor otkucaja srca koji radi pomoću svjetlećih dioda, koje emitiraju svjetlo na kožu, i pomoću optičkih senzora. Podaci s ovog senzora se često koriste za fitness aplikacije i aplikacije za praćenje zdravlja. Jedinstveni primjer jest Pantone 5 koji je vjerojatno jedini mobilni uređaj s ugrađenim Geigerovim brojačem, odnosno instrumentom za mjerenje radioaktivnog zračenja (Krichen, 2021).

Iako mobilni uređaji imaju integrirane senzore temperature za praćenje interne temperature uređaja, senzori za mjerenje temperature okoline, koji se u literaturi i online člancima često navode, nisu česta pojava. Razlog tome je taj što bi mjerenje temperature okoline otežavale učestale promjene temperature samog uređaja. Samsung Galaxy S4 jest primjer mobitela koji ima ugrađen senzor za očitavanje temperature okoline. Međutim, korisnost se senzora može dovesti u pitanje kada kraće prirodno držanje uređaja objema rukama može rezultirati očitavanjem temperature veće za  $5^{\circ}\text{C}$  od prave temperature (de Araújo i ostali, 2017). U idealnom scenariju, prije mjerenja temperature, uređaj se ne bi trebao koristiti niti držati u rukama ili džepu kako bi očitana temperatura bila što točnija. Zbog manjka praktičnosti, ali vjerojatno i manjka nužnosti te dodatnih troškova i komplikacija, ugrađeni senzori za mjerenje temperature okoline danas nisu česti. Slična je situacija i kada su u pitanju senzori za mjerenje vlažnosti zraka.

Tablica 3 sadrži usporedbu senzora i komunikacijskih tehnologija koje su spomenute u ovome i u šestome poglavlju ovisno o tome jesu li karakteristične za uređaje interneta stvari, mobilne uređaje ili su uobičajene i kod jednih i kod drugih.

Tablica 3: Usporedba uređaja interneta stvari i mobilnih uređaja

	Uređaji interneta stvari	Zajedničko	Mobilni uređaji
Komunikacijske tehnologije	ZigBee		
	Z-Wave		
	6LoWPAN		
	LoRa / LoRaWAN		
	WiMAX		
		Bluetooth	
		Bluetooth Low Energy	
		Wi-Fi	
		NFC	
		Mobilna mreža	
	UWB		
Senzori	Senzor temperature		
	Kemijski senzor		
	Senzor vlažnosti		
	Senzor pokreta		
	Senzor tlaka zraka		
		Senzor blizine	
		Žiroskop	
		Akcelerometar	
		Magnetometar	
		Senzor otkucaja srca	
		Senzor svjetla	
			Senzor otiska prsta

Mobilni uređaji danas imaju vrlo važnu ulogu u aplikacijskome sloju interneta stvari sadržavajući aplikacije za upravljanje uređajima interneta stvari te analizu i pregled podataka koje oni prikupljaju. Neka se za primjer uzme Choncha, pametna tegla za cvijeće razvijena u Hrvatskoj. Sama tegla sadrži mnoštvo senzora poput: termometra, senzora svjetlosti te senzora vlažnosti zraka. Svi se podaci, prijašnji i aktualni, prikupljeni od strane tegle mogu pregledati preko mobilne aplikacije. Aplikacija također obavještava korisnika ako su uvjeti za biljku postali nepovoljni. Prikupljeni se podaci i analiziraju kako bi se učilo o okolini u kojoj se tegla nalazi, što aplikaciji omogućuje predlaganje biljaka kojima najbolje odgovaraju uvjeti korisnikovog životnog prostora (Choncha, 2022.)

Kao instrument za prikupljanje podataka, mobilne se uređaje često koristi u aplikacijama za praćenje aktivnosti, kao što je Google Fit. Google Fit koristi senzore mobilnog uređaja za praćenje perioda aktivnosti te broja koraka i otkucaja srca. Prikupljeni su podaci povezani s Google računom (Google, 2024b), što znači da se pohranjuju u oblaku te im se može pristupiti i preko drugih uređaja. Međutim, ovo nije jedini način na koji Google koristi podatke prikupljene od strane mobilnih uređaja. Od korisnika Google karti prikupljaju se podaci o lokaciji, što omogućuje procjenu gužve, ali i vremena čekanja i duljine posjeta u pojedinačnim objektima, kao što su restorani ili dućani (Google, 2024d). Na temelju podataka o lokaciji, Google karte prikazuju i područja, poput susjedstva ili trgova, gdje je prisutno više ljudi nego što je uobičajeno (Google, 2024a). Podaci o lokaciji, ako dovoljno vozača ima mobilne uređaje koji ih prikupljaju, mogu se koristiti i za praćenje stanja u prometu. Costanzo (2013) je prije više od desetljeća demonstrirao početnu verziju sustava koji, pomoću lokacije mobilnih uređaja, računa i prikazuje brzinu kretanja prometa. Ovakvi sustavi ne pomažu samo putnicima omogućujući im da izbjegavaju gužve i planiraju svoja putovanja, već i gradovima pružajući im uvid u stanje u prometu i zauzetost prometnica.

Upotreba mobilnih uređaja u kontekstu interneta stvari se može još naknadno proširiti izvan sakupljanja podataka i mobilnih aplikacija za upravljanje drugim uređajima interneta stvari. Alo i ostali (2016) predlažu arhitekturu sustava u kojoj pametni telefon ima ulogu pristupnika. Nakon stvaranja lokalne mreže, zadaća pristupnika jest drugim uređajima omogućiti pristup internetu i najčešće oblaku. Autori smatraju da su mobilni uređaji, zbog velikog broja komunikacijskih sučelja, dobri kandidati za povezivanje stvari na internet. U svome su rješenju autori mobilnim uređajima dodali hardver za ZigBee komunikaciju te su ga povezali s više različitih uređaja koristeći različite komunikacijske tehnologije. Prikupljene su podatke prvo lokalno pohranili na mobilnom uređaju, nakon čega su ih, preko mobilne mreže, poslali na poslužitelj. Autori su zaključili da je predložena arhitektura funkcionalna, iako naglašavaju da bi potrošnja baterije mogla predstavljati problem. Marah i ostali (2020), uzimajući u obzir principe rubnog računalstva (eng. *Edge computing*), mobilne uređaje promatraju kao rubne

uređaje. U svome rješenju koriste procesorske mogućnosti mobilnih uređaja za donošenje odluka te predobradu podataka prije njihovog slanja na oblak. Primjer jednog procesa predobrade jest detekcija slučajeva kada senzor nije očitao podatak te provedba strategija rješavanja takvih slučajeva.

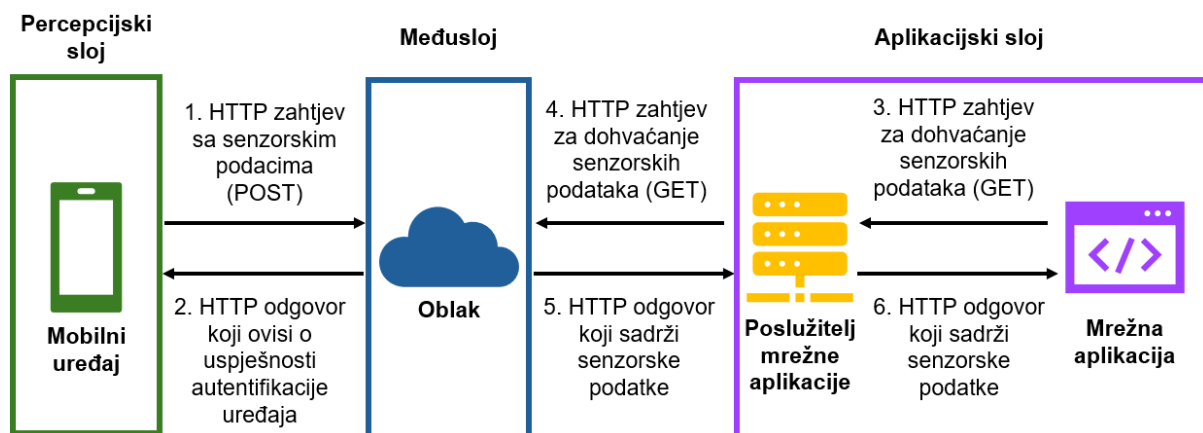
Zaključno, mobilni se uređaji mogu smatrati svestranim uređajima interneta stvari s mnogo mogućnosti i potencijala. Veliki izbor komunikacijskih tehnologija omogućuje im komunikaciju s velikim opsegom raznovrsnih uređaja. Imaju ugrađeni veliki broj senzora, ali i znatne mogućnosti obrade i pohrane, što ih čini moćnim alatima i za prikupljanje i za obradu podataka. Iako njihov potpun potencijal nije još iskorišten, u domeni interneta stvari mogu preuzeti ulogu uređaja, kako na aplikacijskom, tako i na percepcijskom sloju, ali i pristupnika za povezivanje drugih stvari na internet.

## 8. Praktični primjer

Kako bi se pokazao potencijal mobilnih uređaja u kontekstu interneta stvari te demonstrirao jedan od načina njihove upotrebe, u sklopu je ovog rada napravljen sustav u kojemu se prikupljaju i koriste podaci sa senzora mobilnog uređaja. U nastavku je kroz poglavlja opisana arhitektura sustava, registracija i autentifikacija mobilnih uređaja te proces prikupljanja, obrade i prikaza podataka. Cjelokupan izvorni kod mobilne aplikacije dostupan je na <https://github.com/NinoLoncar/iot-android-app>, dok je kod mrežne aplikacije dostupan na <https://github.com/NinoLoncar/iot-web-app>.

### 8.1. Arhitektura sustava

U nastavku slijedi pregled arhitekture sustava, odnosno njezinih slojeva te njihovih funkcionalnosti i zadaća te načina međusobne komunikacije. Slika 11 prikazuje dijelove arhitekture te redoslijed prema kojemu oni komuniciraju. Svaka komunikacija između dijelova, odnosno slojeva arhitekture se obavlja HTTP (eng. *Hypertext Transfer Protocol*) protokolom i preko mrežnih servisa.



Slika 11: Arhitektura sustava

Mobilni uređaji predstavljaju percepcijski sloj, odnosno njihova je primarna svrha prikupljanje podataka preko senzora. Za mobilne je uređaje razvijena aplikacija u Kotlin programskom jeziku koja prikuplja podatke te ih šalje na oblak.

Oblak predstavlja međusloj između percepcijskog sloja i mrežne aplikacije. U kontekstu ovog sustava, zadaća oblaka jest pohrana i obrada podataka te posluživanje mrežnih servisa za pristup senzorskim podacima i njihovu pohranu. U sklopu ovoga sustava, korišten je

MongoDB Atlas. MongoDB je *NoSQL* baza podataka temeljena na dokumentima. Podaci se pohranjuju u obliku koji je sličan JSON-u (eng. *JavaScript Object Notation*), što u mnogim slučajevima može olakšati rad s podacima. Ovaj format omogućava i lagane promjene u strukturi podataka za razliku od relacijskih baza podataka gdje stupci u tablicama moraju biti točno definirani. U MongoDB-u, podaci su organizirani u kolekcije, koje se mogu promatrati kao tablice u relacijskim bazama podataka, a svaka kolekcija sadrži dokumente, koji se mogu promatrati kao pojedinačni reci u relacijskim bazama (MongoDB, 2024a.). MongoDB Atlas, između ostalog, pruža usluge pohrane podataka u oblaku u MongoDB bazu podataka. MongoDB Atlas omogućuje i izradu API-ja za dohvaćanje, dodavanje, uređivanje i brisanje podataka putem HTTP zahtjeva. Krajnjim se točkama (eng. *Endpoint*) API-ja mogu pridruživati vlastite funkcije za obradu zahtjeva pisane u JavaScriptu. (MongoDB, 2024b.). U ovome je sustavu MongoDB Atlas izabran zbog velike fleksibilnosti strukture podataka i skalabilnosti, ali i zbog jednostavnosti korištenja te darežljivog besplatnog plana za korištenje samog oblaka.

Aplikacijski sloj, odnosno mrežna aplikacija, korisnicima omogućuje pregled registriranih uređaja i podataka koje su oni prikupili. Preko mrežne aplikacije, autorizirani korisnici mogu i registrirati nove mobilne uređaje odnosno brisati postojeće. Za izradu su mrežne aplikacije korišteni HTML, CSS i JavaScript. Poslužitelj, koji poslužuje mrežnu aplikaciju, kreiran je koristeći Node.js. Poslužitelj služi i kao posrednik preko čijih mrežnih servisa aplikacija komunicira s oblakom.

Cilj je bio kroz relativno jednostavnu arhitekturu ovog sustava demonstrirati karakteristične i česte slojeve u sustavima interneta stvari te njihove odgovornosti i funkcionalnosti. Radi jasnoće i jednostavnosti, u razvoju su upotrebljavanje često korištene i široko dostupne tehnologije.

## 8.2. Registracija i autentifikacija uređaja

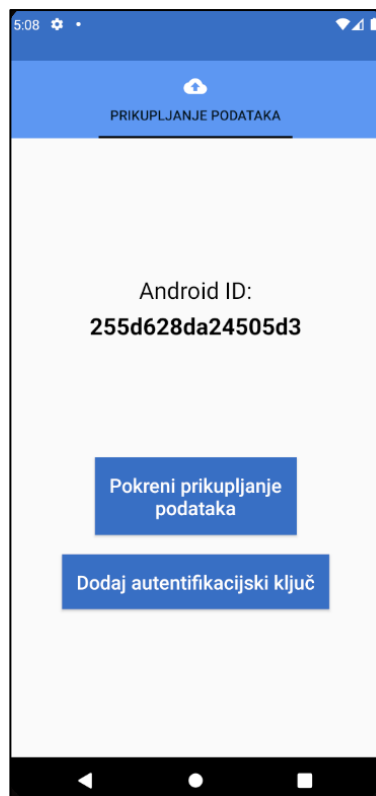
Kako ne bi bilo tko mogao registrirati svoj mobilni uređaj i nekontrolirano trošiti resurse u oblaku, potrebno je osmisliti proces registracije uređaja koji provoditi mogu samo za to autorizirani korisnici. Uvođenjem registracije u sustav, pojavljuje se novi problem iz područja sigurnosti, a to je autentifikacija uređaja. U nastavku slijedi opis kako izgledaju procesi registracije i autentifikacije u izrađenom sustavu.

Prvi korak registracije jest pronaći način na koji će se uređaj moći jedinstveno identificirati. U ovome je sustavu za identifikaciju uređaja korišten Android ID. Od verzije Android 8.0 na više, Android ID je 64-bitni broj jedinstven za svaku kombinaciju aplikacije, korisnika i uređaja. Postoji mogućnost mijenjanja njegove vrijednosti kod vraćanja uređaja na tvorničke postavke (Google, 2024f), što bi moglo predstavljati problem u ozbiljnijim sustavima, ali je zaključeno da

u ovom primjermom sustavu to neće predstavljati veliki problem. Kod odabira jedinstvenog identifikatora u obzir treba uzeti privatnost i sigurnost korisnika uređaja. Programski kod 1 prikazuje funkciju za dohvaćanje Android ID-a. Nakon dohvaćanja, Android ID se prikazuje na početnom zaslonu mobilne aplikacije kao što je prikazano na slici 12.

```
fun getAndroidId(context: Context): String {  
    return Settings.Secure.getString(context.contentResolver,  
        Settings.Secure.ANDROID_ID)  
}
```

Programski kod 1: getAndroidId metoda

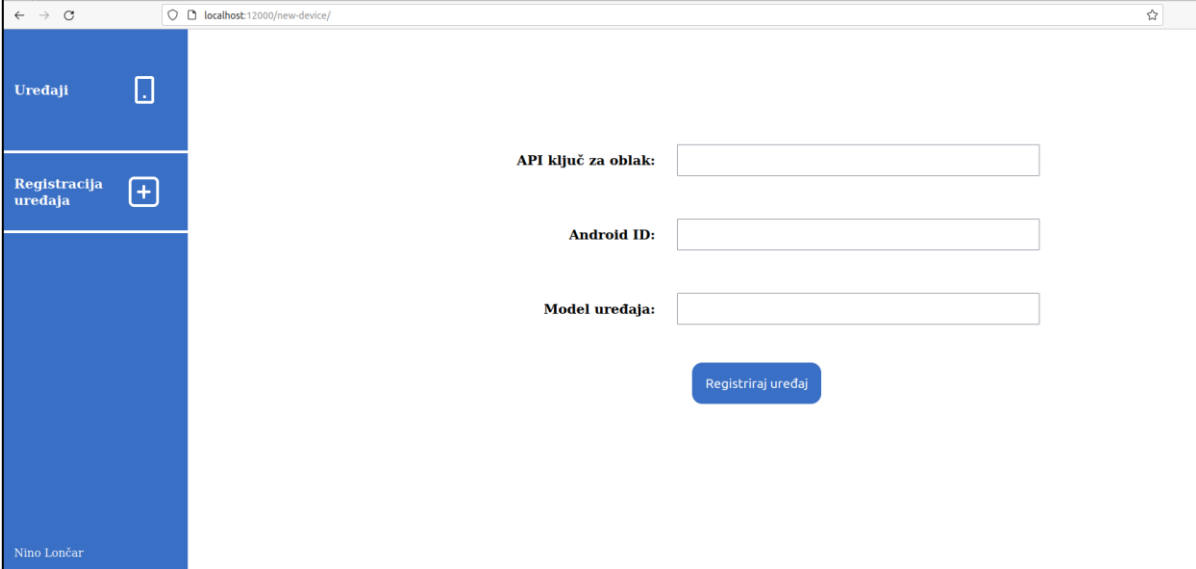


Slika 12: Početni zaslon

Kod registracije uređaja preko mrežne aplikacije, korisnik upisuje Android ID koji je prikazan unutar mobilne aplikacije. Korisniku je za registraciju uređaja potreban API ključ. API ključ stavlja se u zaglavlje HTTP zahtjeva koji se šalje na oblak. Za provjeru validnosti API ključa je odgovoran sam oblak. MongoDB Atlas pruža više različitih načina autentifikacije i autorizacije, a API ključ je jedan od njih. MongoDB Atlas omogućuje uključivanje odnosno isključivanje autentifikacije za pojedinačne krajnje točke API-ja, što omogućuje da krajnje točke

za dodavanje i brisanje uređaja zahtijevaju autentifikaciju, dok, primjerice, točki za dohvat senzorskih podataka može svatko pristupiti.

Nakon što korisnik popuni formu prikazanu na slici 13 i pritisne gumb za registraciju, na oblak se šalje POST HTTP zahtjev koji u tijelu sadrži unesene podatke o uređaju i autentifikacijski ključ koji će detaljnije biti opisan u nastavku. Ako je API ključ ispravan i ako već ne postoji registrirani uređaj s unesenim Android ID-om, na oblaku se kreira novi dokument s podacima o novom uređaju.



Slika 13: Registracija uređaja

Nakon uspješne registracije, mrežna aplikacija korisniku prikazuje autentifikacijski ključ koji korisnik mora pohraniti na mobilni uređaj preko mobilne aplikacije. Autentifikacijski je ključ niz od 8 znakova generiran na poslužitelju mrežne aplikacije koristeći *generate-api-key* biblioteku. Naime, kod slanja senzorskih podataka na oblak, mobilni uređaj šalje i svoj Android ID te pohranjeni autentifikacijski ključ. Programski kod 2 prikazuje kako se na oblaku, prije pohrane senzorskih podataka, provjerava postoji li registrirani uređaj s poslanim Android ID-om i autentifikacijskim ključem, kako bi se utvrdilo je li pošiljalac podataka uistinu onaj uređaj za kojeg se predstavlja.

```
exports = async function (request, response) {  
  const mongodb = context.services.get("mongodb-atlas");  
  const devicesCollection = mongodb.db("iotData").collection("devices");  
  const sensorDataCollection =  
  mongodb.db("iotData").collection("sensorData");
```



```

response.setHeader("Content-Type", "application/json");
let sensorData = JSON.parse(await request.body.text());
let androidId = sensorData.androidId;
let authenticationKey = request.headers["Authentication-Key"];

let device = await devicesCollection.findOne({
  authenticationKey: authenticationKey,
  androidId: androidId,
});
if (device == null) {
  response.setStatusCode(403);
  return { message: "Device not registered or invalid authentication
  key" };
}...
}

```

### Programski kod 2: Autentifikacija uređaja na oblaku

Za trajnu pohranu autentifikacijskog ključa, mobilna aplikacija koristi DataStore. Programski kod 3 prikazuje klasu koja se koristi za rad s DataStoreom.

```

class DataStoreManager(context: Context) {
  private val datastore = context.dataStore
  private val authenticationPreferencesKey =
    stringPreferencesKey("AUTHENTICATION_KEY")
  suspend fun updateAuthenticationKey(apiKey: String) {
    datastore.edit { preferences ->
      preferences[authenticationPreferencesKey] = apiKey
    }
  }
  fun getAuthenticationKey(): Flow<String?> {
    return datastore.data.map { preferences ->
      preferences[authenticationPreferencesKey]
    }
  }
}

```

### Programski kod 3: DataStoreManager klasa

Sigurnost je danas vrlo čest problem kada su u pitanju sustavi interneta stvari, zbog čega su sigurnosni mehanizmi poput autentifikacije i autorizacije vrlo važni. Iako su primijenjeni načini registracije i autentifikacije adekvatni za ovaj primjermi sustav, potrebno je istaknuti da bi u pravim i kompleksnim sustavima trebalo razmisliti o korištenju dodatnih i boljih sigurnosnih mehanizama.

### 8.3. Prikupljanje, obrada i prikaz podataka

Kao što je već spominjano, mobilni uređaji imaju ugrađen širok spektar različitih senzora. U ovome se sustavu prikupljaju GPS podaci o lokaciji uređaja, podaci očitani od strane akcelerometra te broj koraka detektiran od strane mobilnog uređaja. Kao primjer obrade prikupljenih podataka, na oblaku se radi filtriranje podataka. Konačno, korisnici mogu pregledavati prikupljene podatke preko mrežne aplikacije koja podatke dohvaća s oblaka.

Prije nego aplikacija može početi prikupljati podatke o lokaciji uređaja, potrebno je napraviti nekoliko pretkoraka. Kako bi se zaštitila privatnost korisnika, svaka aplikacija mora zatražiti dozvolu za korištenje podataka o lokaciji. Ako aplikacija dobije dozvolu za prikupljanje podataka o lokaciji, nakon toga je potrebno provjeriti je li lokacija uopće uključena. Tek kada su ova dva uvjeta zadovoljena može započeti prikupljanje podataka o lokaciji. Za prikupljanje podataka o lokaciji, u Kotlinu se koristi klasa *FusedLocationProvider*. Programski kod 4 pokazuje način na koji se objekt klase *FusedLocationProvider* može koristiti za kontinuirano praćenje lokacije uređaja.

```
class DataCollectionFragment : Fragment(), SensorEventListener {
    private lateinit var fusedLocationClient: FusedLocationProviderClient
    private lateinit var locationRequest: LocationRequest
    private lateinit var locationCallback: LocationCallback

    override fun onCreateView( inflater: LayoutInflater, container:
    ViewGroup?, savedInstanceState: Bundle?): View? {
        fusedLocationClient =
        LocationServices.getFusedLocationProviderClient(requireActivity())
        locationRequest = LocationRequest.Builder(5000)
            .setPriority(Priority.PRIORITY_HIGH_ACCURACY)
            .build()

        locationCallback = object : LocationCallback() {
            override fun onLocationResult(p0: LocationResult) {
```

```

        p0 ?: return
        for (location in p0.locations) {
            longitude = location.longitude
            latitude = location.latitude
        }
    }
    }...
}

private fun startDataCollection() {
    fusedLocationClient.requestLocationUpdates(locationRequest,
        locationCallback, null)
    ...}
}

```

#### Programski kod 4: FusedLocationClient

Iako Kotlin omogućuje rad s brojačem koraka, mobilna aplikacija koristi detektor koraka. Razlog tomu je taj što se brojač koraka resetira nakon svakog ponovnog pokretanja mobitela te počinje korake brojati ponovno od nule (Google, 2024e). Detektor koraka omogućuje aplikaciji da prati vlastiti ukupan broj koraka pohranjujući ga trajno u memoriju koristeći DataStore. Važno je napomenuti da, ako aplikacija želi koristiti brojač ili detektor koraka, mora prije zatražiti dozvolu za praćenje aktivnosti korisnika. Uz detekciju koraka, još se prikupljaju i podaci koji očitava akcelerometar za što nije potrebna dodatna dozvola. Kao što prikazuje programski kod 5, za prikupljanje podataka sa senzora mobitela aktivnost ili fragment moraju naslijediti klasu *SensorEventListener*. Nakon instanciranja senzora i registracije osluškivača, podacima sa senzora se može pristupiti nadjačavanjem metode *onSensorChanged*.

```

class DataCollectionFragment : Fragment(), SensorEventListener {
    private lateinit var sensorManager: SensorManager
    private var stepDetector: Sensor? = null
    private var accelerometer: Sensor? = null
    private var stepCount: Int = 0
    private var accelerationX: Float = 0f
    private var accelerationY: Float = 0f
    private var accelerationZ: Float = 0f

    override fun onCreateView( inflater: LayoutInflater, container:
        ViewGroup?, savedInstanceState: Bundle?): View? {...

```

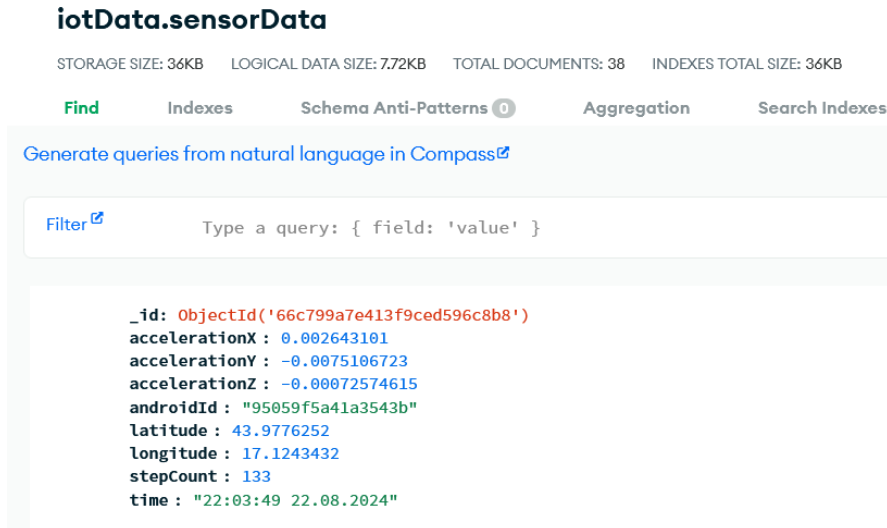
```

    sensorManager =
    requireContext().getSystemService(Context.SENSOR_SERVICE) as
    SensorManager
    stepDetector =
    sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_STEP_DETECTOR)
    accelerometer =
    sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_LINEAR_ACCELERATION)
...}
private fun registerSensorListeners() {
    if (stepDetector != null) {
        sensorManager.registerListener(
            this,
            stepDetector,
            SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL
        )
    }
    if (accelerometer != null) {
        sensorManager.registerListener(
            this,
            accelerometer,
            SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL
        )
    }
}
override fun onSensorChanged(event: SensorEvent?) {
    if (event != null) {
        if (event.sensor.type == Sensor.TYPE_STEP_DETECTOR) {
            stepCount++
            lifecycleScope.launch {
                datastoreManager.updateStepCount(stepCount)
            }
        }
        if (event.sensor.type == Sensor.TYPE_LINEAR_ACCELERATION) {
            accelerationX = event.values[0]
            accelerationY = event.values[1]
            accelerationZ = event.values[2]
        }
    }
}
}...
}

```

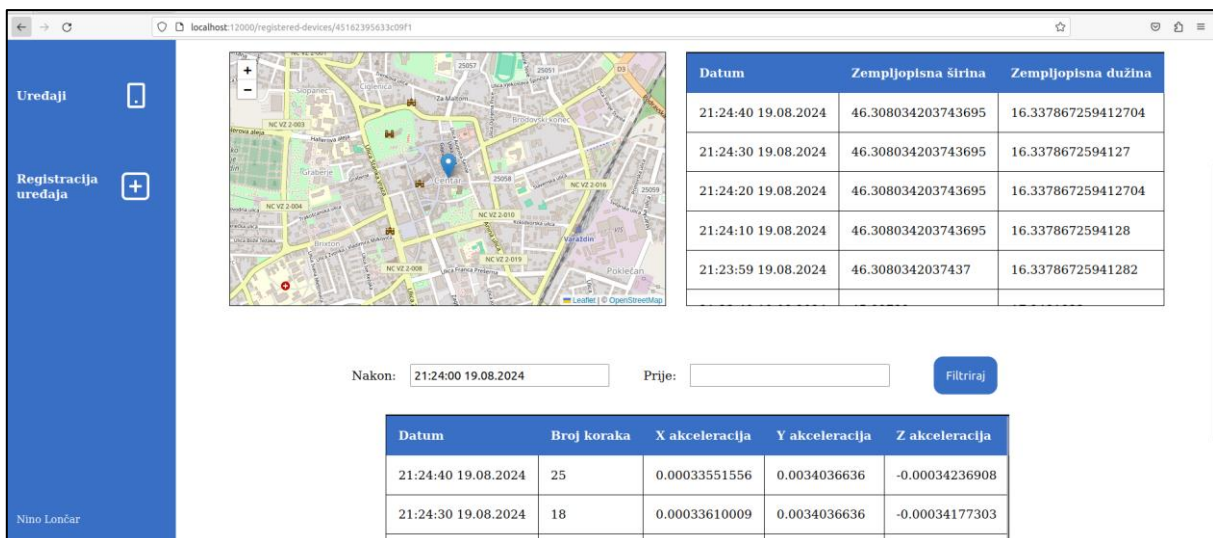
Programski kod 5: Prikupljanje senzorskih podataka

Nakon uspješnog prikupljanja, podaci se šalju na oblak unutar tijela HTTP zahtjeva koji u zaglavlju sadrži i autentifikacijski ključ uređaja. Za svaki prikupljeni set podataka, na oblaku se kreira dokument s tim podacima kao što je prikazano na slici 14.



Slika 14: Podaci pohranjeni na oblaku

Jednom kada su pohranjeni na oblaku, podaci se mogu pregledavati preko mrežne aplikacije, kao što je prikazano na slici 15. Podaci lokacije, odnosno zemljopisna širina i dužina, imaju dodatnu mogućnost interakcije označavanjem kliknute lokacije na karti. U sklopu mrežne aplikacije postoji i mogućnost filtriranja podataka koji su prikupljeni nakon odnosno prije zadanog datuma i vremena. Filtriranje podataka se provodi na samome oblaku, kako se ne bi svaki puta s oblaka slali svi podaci.



Slika 15: Pregled senzorskih podataka

Zaključno, kod prikupljanja senzorskih podataka mobilnih uređaja u obzir treba uzeti i druge faktore osim dostupnosti samih senzora, kao što su dozvole korisnika i, primjerice, dostupnost usluga lokacije. Ovaj sustav objedinjuje prikupljanje podataka različitim senzorskim tehnologijama koje su dio mobilnih uređaja, pohranu i obradu podataka na oblaku te prikaz prikupljenih podataka preko mrežne aplikacije.

## 9. Zaključak

Teorijski dio ovog rada daje pregled različitih koncepata iz područja interneta stvari pružajući informacije potrebne za njegovo osnovno razumijevanje. Internet stvari je predstavljen kroz njegove definicije, karakteristike i konkretne primjere te kratkim pregledom njegove prošlosti i potencijalne budućnosti. Razumijevanje arhitekture predstavlja temelj za izgradnju sustava interneta stvari. Rad pruža i kratki uvod u računalstvo u oblaku s obzirom da ono vrlo često predstavlja temeljnu tehnologiju koja omogućuje sustave interneta stvari. Pregledom uređaja interneta stvari, odnosno vrsta senzora, aktuatora i komunikacijskih tehnologija, rad uvodi u analizu mobilnih uređaja u ulozi uređaja interneta stvari. Dan je detaljan pregled senzorskih i komunikacijskih mogućnosti mobilnih uređaja te njihovih stvarnih i potencijalnih uloga u kontekstu interneta stvari.

Praktični se dio rada sastoji od sustava koji se temelji na primjeni mobilnih uređaja za prikupljanje senzorskih podataka. Sustav je obuhvatio i prezentirao različite koncepte koji su spominjani u teorijskom djelu kao što su: jedinstvena identifikacija uređaja interneta stvari, računalstvo u oblaku te sakupljanje, obrada i primjena podataka sa senzora. Analizom sustava moguće je raspoznati jednostavnu arhitekturu gdje mobilni uređaji čine percepcijski sloj, oblak služi kao međusloj za pohranu i obradu, a mrežna aplikacija predstavlja aplikacijski sloj preko kojega korisnici imaju dostupan pregled podataka. Razvoj cjelovitog sustava obuhvatio je razvoj mobilnih aplikacija za Android, korištenje računalstva u oblaku te razvoj mrežnih aplikacija. Uz osnovne koncepte interneta stvari, sustav je demonstrirao i mali dio potencijala i način primjene mobilnog uređaja u domeni interneta stvari. Sav kod mobilne aplikacije je javno dostupan na <https://github.com/NinoLoncar/iot-android-app>, dok je kod mrežne aplikacije dostupan na <https://github.com/NinoLoncar/iot-web-app>.

## Popis literature

- Aloi, G., Caliciuri, G., Fortino, G., Gravina, R., Pace, P., Russo, W., & Savaglio, C. (2016). A Mobile Multi-Technology Gateway to Enable IoT Interoperability. *IEEE First International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI)*.  
[https://www.researchgate.net/publication/303393501\\_A\\_Mobile\\_Multi-Technology\\_Gateway\\_to\\_Enable\\_IoT\\_Interoperability](https://www.researchgate.net/publication/303393501_A_Mobile_Multi-Technology_Gateway_to_Enable_IoT_Interoperability)
- Al-Shareeda, M. A., Ali, M., Manickam, S., & Karuppayah, S. (2023). Bluetooth low energy for internet of things: review, challenges, and open issues Bluetooth low energy for internet of things Internet of things. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(2), 1182–1189.  
[https://www.researchgate.net/publication/371671805\\_Bluetooth\\_low\\_energy\\_for\\_internet\\_of\\_things\\_review\\_challenges\\_and\\_open\\_issues\\_Bluetooth\\_low\\_energy\\_Bluetooth\\_low\\_energy\\_for\\_internet\\_of\\_things\\_Internet\\_of\\_things](https://www.researchgate.net/publication/371671805_Bluetooth_low_energy_for_internet_of_things_review_challenges_and_open_issues_Bluetooth_low_energy_Bluetooth_low_energy_for_internet_of_things_Internet_of_things)
- Apple. (2024). *iPhone 15 Pro Specifications*. <https://www.apple.com/iphone-15-pro/specs/>
- Arshi, O., & Mondal, S. (2023). Advancements in sensors and actuators technologies for smart cities: a comprehensive review. *Smart Construction and Sustainable Cities*, 1.  
[https://www.researchgate.net/publication/375795080\\_Advancements\\_in\\_sensors\\_and\\_actuators\\_technologies\\_for\\_smart\\_cities\\_a\\_comprehensive\\_review](https://www.researchgate.net/publication/375795080_Advancements_in_sensors_and_actuators_technologies_for_smart_cities_a_comprehensive_review)
- Ashton, K. (2009). *That 'Internet of Things' Thing*. RFID Journal.  
<https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
- Boisvert, M., Bigelow, S. J., & Chai, W. (2022). *Infrastructure as a Service (IaaS)*. TechTarget. <https://www.techtarget.com/searchcloudcomputing/definition/Infrastructure-as-a-Service-IaaS>
- Choncha. (2022). *Choncha*. <https://choncha.eu/?lang=hr>
- Costanzo, A. (2013). Using GPS data to monitor road traffic flows in a metropolitan area: methodology and case study. *2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*.  
[https://www.researchgate.net/publication/266646942\\_Using\\_GPS\\_data\\_to\\_monitor\\_road\\_traffic\\_flows\\_in\\_a\\_metropolitan\\_area\\_methodology\\_and\\_case\\_study](https://www.researchgate.net/publication/266646942_Using_GPS_data_to_monitor_road_traffic_flows_in_a_metropolitan_area_methodology_and_case_study)
- de Araújo, T. C., Silva, L., & Moreira, A. (2017). Data Quality Issues in Environmental Sensing with Smartphones. *SENSORSNET 2017*.  
[https://www.researchgate.net/publication/313902339\\_Data\\_Quality\\_Issues\\_in\\_Environmental\\_Sensing\\_with\\_Smartphones](https://www.researchgate.net/publication/313902339_Data_Quality_Issues_in_Environmental_Sensing_with_Smartphones)
- Diaby, T., & Bashari Rad, B. (2017). Cloud Computing: A review of the Concepts and Deployment Models. *International Journal of Information Technology and Computer*



*Science*, 9(6), 50–58.

[https://www.researchgate.net/publication/317413701\\_Cloud\\_Computing\\_A\\_review\\_of\\_the\\_Concepts\\_and\\_Deployment\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/317413701_Cloud_Computing_A_review_of_the_Concepts_and_Deployment_Models)

Difference Between Private Cloud and Public Cloud [Slika] (bez dat.). Preuzeto 09.07.2024.

s <https://www.sitesbay.com/cloud-computing/cloud-computing-difference-between-public-cloud-and-private-cloud>

Eurostat. (2023). *Cloud computing services by size class of enterprise*.

[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC\\_CICCE\\_USE/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_CICCE_USE/default/table?lang=en)

Evans, D. (2011). *The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*.

[https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf)

Gibson, J., Rondeau, R., Eveleigh, D., & Tan, Q. (2012). Benefits and challenges of three cloud computing service models. *Fourth International Conference on Computational Aspects of Social Networks (CASoN)*.

[https://www.researchgate.net/publication/261422983\\_Benefits\\_and\\_challenges\\_of\\_three\\_cloud\\_computing\\_service\\_models](https://www.researchgate.net/publication/261422983_Benefits_and_challenges_of_three_cloud_computing_service_models)

Gillis, A. S., Posey, B., & Rosencrance, L. (2023, kolovoz). *Industrial internet of things (IIoT)*. TechTarget.

[https://www.researchgate.net/publication/324490276\\_The\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT\\_A\\_Study\\_of\\_Architectural\\_Elements](https://www.researchgate.net/publication/324490276_The_Internet_of_Things_IoT_A_Study_of_Architectural_Elements)

Gillis, A. S., Posey, B., & Shea, S. (2023). *IoT devices (internet of things devices)*.

TechTarget. <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/IoT-device>

Google. (2024a). *Get information about busy areas from Google Maps*. Google Maps Help.

Preuzeto 23.07.2024. s <https://support.google.com/maps/answer/11323117?hl=en>

Google. (2024b). *Google Fit Help*. Google Help. Preuzeto 22.07.2024. s

<https://support.google.com/fit/faq/6108483?hl=en-GB>

Google. (2024c). *Near field communication (NFC) overview*. Android Developers. Preuzeto

22.07.2024. s <https://developer.android.com/develop/connectivity/nfc>

Google. (2024d). *Popular times, wait times, and visit duration*. Google Business Profile Help.

Preuzeto 23.07.2024. s <https://support.google.com/business/answer/6263531?hl=en>

Google. (2024e). *Sensor*. Android Developers. Preuzeto 19.08.2024. s

<https://developer.android.com/reference/kotlin/android/hardware/Sensor>

Google. (2024f). *Settings.Secure*. Android Developers. Preuzeto 18.08.2024. s

[https://developer.android.com/reference/android/provider/Settings.Secure#ANDROID\\_ID](https://developer.android.com/reference/android/provider/Settings.Secure#ANDROID_ID)

- Gupta, B. B., & Quamara, M. (2018). An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. *Concurrency and Computation Practice and Experience*, 32(21).  
[https://www.researchgate.net/publication/327695374\\_An\\_overview\\_of\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT\\_Architectural\\_aspects\\_challenges\\_and\\_protocols](https://www.researchgate.net/publication/327695374_An_overview_of_Internet_of_Things_IoT_Architectural_aspects_challenges_and_protocols)
- Hrešč, M. (2022). *U Varaždinu postavljen sustav za praćenje jačine buke i kvalitete zraka*. Varaždin. <https://varazdin.hr/novosti/varazdinu-postavljen-sustav-pracenje-jacine-buke-i-kvalitete-zraka-10100/>
- IEEE. (2024). *What is actuator in IoT?* IEEE Blended Learning Program.  
<https://blp.ieee.org/what-is-actuator-in-iot/>
- IoT device management process [Slika] (2023). Preuzeto 16.07.2024. s  
<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/internet-of-things-device-management-IoT-device-management>
- Komilov, D. R. (2023). Application of Zigbee Technology in IoT . *International Journal of Advance Scientific Research*, 3(9), 343–349.  
<https://sciencebring.com/index.php/ijasr/article/view/425>
- Krichen, M. (2021). Anomalies Detection Through Smartphone Sensors: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 21(6), 7207–7217.  
[https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9327468?casa\\_token=XelzVDqYW\\_AAA:AAA:VNlpZnhIRolw7-3SxHtBAkObXGp3DegtWEPGWVjQfyb4IcnfNUZhWz9G4-xqd7naa9X4-gbW-WHOQ](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9327468?casa_token=XelzVDqYW_AAA:AAA:VNlpZnhIRolw7-3SxHtBAkObXGp3DegtWEPGWVjQfyb4IcnfNUZhWz9G4-xqd7naa9X4-gbW-WHOQ)
- Kumar, R., Wan, A. T., & Suhaili, W. S. H. (2020). Exploring Data Security and Privacy Issues in Internet of Things Based on Five-Layer Architecture. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, 12(1), 108–121.  
[https://www.researchgate.net/publication/341201776\\_Exploring\\_Data\\_Security\\_and\\_Privacy\\_Issues\\_in\\_Internet\\_of\\_Things\\_Based\\_on\\_Five-Layer\\_Architecture](https://www.researchgate.net/publication/341201776_Exploring_Data_Security_and_Privacy_Issues_in_Internet_of_Things_Based_on_Five-Layer_Architecture)
- Lai, O. (2024). *Top 7 Smart Cities in the World in 2024*. Earth.org. <https://earth.org/top-7-smart-cities-in-the-world/>
- Lampropoulos, G., Siakas, K., & Anastasiadis, T. (2019). Internet of Things in the Context of Industry 4.0: An Overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7(1), 4–19.  
[https://www.researchgate.net/publication/334366026\\_Internet\\_of\\_Things\\_in\\_the\\_Context\\_of\\_Industry\\_40\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/334366026_Internet_of_Things_in_the_Context_of_Industry_40_An_Overview)
- Lea, P. (2018). *Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security*. Packt Publishing Ltd.

- Lohnes, K. (2017). *How Does Wi-Fi Work?* Britannica. <https://www.britannica.com/story/how-does-wi-fi-work>
- Lonzetta, A. M., Cope, P., Campbel, J., Mohd, B. J., & Hayajneh, T. (2018). Security Vulnerabilities in Bluetooth Technology as Used in IoT. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 7(3), 28.  
[https://www.researchgate.net/publication/326511381\\_Security\\_Vulnerabilities\\_in\\_Bluetooth\\_Technology\\_as\\_Used\\_in\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/326511381_Security_Vulnerabilities_in_Bluetooth_Technology_as_Used_in_IoT)
- Malche, T., & Maheshwary, P. (2017). Internet of Things (IoT) for building Smart Home System. *International Conference on I-SMAC*.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8058258>
- Marah, B. D., Jing, Z., Ma, T., Alsabri, R., Anaadumba, R., Al-Dhelaan, A., & Al-Dhelaan, M. (2020). Smartphone Architecture for Edge-Centric IoT Analytics. *Sensors*, 20(3), 892.
- Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing — The business perspective. *Decision Support Systems*, 51(1), 176–189.  
[https://www.researchgate.net/publication/220197084\\_Cloud\\_computing\\_-\\_The\\_business\\_perspective](https://www.researchgate.net/publication/220197084_Cloud_computing_-_The_business_perspective)
- Medina, C. A., Pérez, M. R., & Trujillo, L. C. (2017). IoT Paradigm into the Smart City Vision: A Survey. *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*.  
[https://www.researchgate.net/publication/322876769\\_IoT\\_Paradigm\\_into\\_the\\_Smart\\_City\\_Vision\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/322876769_IoT_Paradigm_into_the_Smart_City_Vision_A_Survey)
- Međunarodna telekomunikacijska agencija. (2005). *ITU INTERNET REPORTS 2005 - The Internet of Thing- Eexecutive summary*.  
<https://www.itu.int/net/wsis/tunis/newsroom/stats/The-Internet-of-Things-2005.pdf>
- Međunarodna telekomunikacijska unija. (2012). *Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models: Overview of the Internet of things*.  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/en>
- Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2014). *Towards a definition of the Internet of Things (IoT)* [IEEE].  
[https://www.researchgate.net/publication/317588072\\_Towards\\_a\\_definition\\_of\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/317588072_Towards_a_definition_of_the_Internet_of_Things_IoT)
- Mirashe, S. P., & Kalyankar, N. V. (2010). Cloud Computing. *Journal of Computing*, 2(3).  
[https://www.researchgate.net/publication/45907461\\_Cloud\\_Computing](https://www.researchgate.net/publication/45907461_Cloud_Computing)
- Mohapatra, H. (2023). *Integration of IoT with Cloud Computing*.  
<https://www.linkedin.com/pulse/integration-iot-cloud-computing-dr-hitesh-mohapatra/>

- MongoDB. (2024a). *Data API Endpoints*. <https://www.mongodb.com/docs/atlas/app-services/data-api/generated-endpoints/>
- MongoDB. (2024b). *Why Use MongoDB and When to Use It?* <https://www.mongodb.com/resources/products/fundamentals/why-use-mongodb>
- Navani, D., Jain, S., & Nehra, M. S. (2017). The Internet of Things(IoT): A Study of Architectural Elements. *13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*. [https://www.researchgate.net/publication/324490276\\_The\\_Internet\\_of\\_Things\\_IoT\\_A\\_Study\\_of\\_Architectural\\_Elements](https://www.researchgate.net/publication/324490276_The_Internet_of_Things_IoT_A_Study_of_Architectural_Elements)
- Naveen, S., & Kounte, M. R. (2019). Key Technologies and challenges in IoT Edge Computing. *Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*. [https://www.researchgate.net/publication/339904707\\_Key\\_Technologies\\_and\\_challenges\\_in\\_IoT\\_Edge\\_Computing](https://www.researchgate.net/publication/339904707_Key_Technologies_and_challenges_in_IoT_Edge_Computing)
- Patel, H. B., & Kansara, N. (2021). Cloud Computing Deployment Models: A Comparative Study. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 9(2). [https://www.researchgate.net/publication/350721171\\_Cloud\\_Computing\\_Deployment\\_Models\\_A\\_Comparative\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/350721171_Cloud_Computing_Deployment_Models_A_Comparative_Study)
- Pratt, M. K. (2022). *Get acquainted with the types of actuators in IoT*. TechTarget. <https://www.techtarget.com/iotagenda/tip/Get-acquainted-with-the-types-of-actuators-in-IoT>
- Pratt, M. K. (2023). *Top 12 most commonly used IoT protocols and standards*. TechTarget. <https://www.techtarget.com/iotagenda/tip/Top-12-most-commonly-used-IoT-protocols-and-standards>
- Ramachandran, R. (2018). The Analysis of Different Types of IoT Sensors and security trend as Quantum chip for Smart City Management. *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, 20(1), 55–60. [https://www.researchgate.net/publication/322593545\\_The\\_Analysis\\_of\\_Different\\_Types\\_of\\_IoT\\_Sensors\\_and\\_security\\_trend\\_as\\_Quantum\\_chip\\_for\\_Smart\\_City\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/322593545_The_Analysis_of_Different_Types_of_IoT_Sensors_and_security_trend_as_Quantum_chip_for_Smart_City_Management)
- Rao, A. R., & Clarke, D. (2020). Perspectives on emerging directions in using IoT devices in blockchain applications. *Internet of Things*, 10. <https://doi.org/10.1016/J.IOT.2019.100079>
- Romkey, J. (2017). Toast of the IoT: The 1990 Interop Internet Toaster. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 116–119. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7786805>
- Samsung. (2024). *Galaxy S24 Ultra Specification*. [https://www.samsung.com/latin\\_en/smartphones/galaxy-s24-ultra/specs/](https://www.samsung.com/latin_en/smartphones/galaxy-s24-ultra/specs/)

- Sarmadi, H., Entezami, A., Yuen, K.-V., & Behkamal, B. (2023). Review on smartphone sensing technology for structural health monitoring. *Measurement*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224123012800>
- Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. *3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*.  
[https://www.researchgate.net/publication/336416629\\_Smart\\_Sensors\\_Analysis\\_of\\_Different\\_Types\\_of\\_IoT\\_Sensors/citations](https://www.researchgate.net/publication/336416629_Smart_Sensors_Analysis_of_Different_Types_of_IoT_Sensors/citations)
- Shea, S., & Burns, E. (2020). *Smart city*. TechTarget.  
<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-city>
- Sicari, S., Rizzardi, A., & Coen-Porisini, A. (2020). 5G In the internet of things era: An overview on security and privacy challenges. *Computer Networks*, 179.  
<https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2020.107345>
- Silverio-Fernández, M., Renukappa, S., & Suresh, S. (2018). What is a smart device? - a conceptualisation within the paradigm of the internet of things. *Visualization in Engineering*, 6.  
[https://www.researchgate.net/publication/325049063\\_What\\_is\\_a\\_smart\\_device\\_-\\_a\\_conceptualisation\\_within\\_the\\_paradigm\\_of\\_the\\_internet\\_of\\_things](https://www.researchgate.net/publication/325049063_What_is_a_smart_device_-_a_conceptualisation_within_the_paradigm_of_the_internet_of_things)
- Split of Responsibilities for Each Type of Cloud Computing Service [Slika] (2020). Preuzeto 08.07.2024. s <https://www.pentasecurity.com/blog/iaas-paas-saas/>
- Stiller, B., Schiller, E., & Schmitt, C. (2021). An Overview of Network Communication Technologies for IoT. U *Handbook of Internet-of-Things*. Springer.  
[https://www.researchgate.net/publication/345813266\\_An\\_Overview\\_of\\_Network\\_Communication\\_Technologies\\_for\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/345813266_An_Overview_of_Network_Communication_Technologies_for_IoT)
- Stone, M. (2021). *What is ultra-wideband, and how does it work?* Samsung Business Insights. <https://insights.samsung.com/2021/08/25/what-is-ultra-wideband-and-how-does-it-work-3/>
- Su, X., Tong, H., & Ji, P. (2014). Activity recognition with smartphone sensors. *Tsinghua Science and Technology*, 19(3), 235–249.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6838194>
- 13 Essential Components of a Smart Home [Slika] (2023). Preuzeto 28.06.2024. s <https://www.techopedia.com/how-to/how-to-build-a-smart-home>
- Vailshery, L. S. (2023). *Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2023, with forecasts from 2022 to 2030*. Statista.  
<https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>
- Wazid, M., Kumar Das, A., Shetty, S., Gope, P., & Rodrigues, J. J. P. C. (2020). Security in 5G-Enabled Internet of Things Communication: Issues, Challenges, and Future

Research Roadmap. *IEEE Access*, 9, 4466–4489.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9309301>

Wi-Fi Alliance. (2024). *Wi-Fi Direct*. <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-direct>

# Popis slika

Slika 1: Procjena broja povezanih uređaja interneta stvari prema Vailsheryju (2023) .....	5
Slika 2: Pametna kuća (13 Essential Components of a Smart Home, 2023.).....	8
Slika 3: Poduzeća koja koriste usluge računalstva u oblaku prema Eurostatu (2023).....	15
Slika 4: Usporedba modela implementacija računalstva u oblaku (Difference Between Private Cloud and Public Cloud, bez dat.) .....	16
Slika 5: Usporedba servisnih modela računalstva u oblaku (Split of Responsibilities for Each Type of Cloud Computing Service, 2020.) .....	18
Slika 6: Proces upravljanja uređajima interneta stvari (IoT device management process, 2023.).....	19
Slika 7: Vrste senzora.....	20
Slika 8: Topologije ZigBee mreža prema Komilovu (2023) .....	24
Slika 9: Senzori mobilnog uređaja .....	27
Slika 10: Osi mobilnog uređaja .....	28
Slika 11: Arhitektura sustava .....	32
Slika 12: Početni zaslon .....	34
Slika 13: Registracija uređaja .....	35
Slika 14: Podaci pohranjeni na oblaku.....	40
Slika 15: Pregled senzorskih podataka.....	40

# Popis tablica

Tablica 1: Troslojna arhitektura .....	12
Tablica 2: Usporedba komunikacijskih tehnologija.....	22
Tablica 3: Usporedba uređaja interneta stvari i mobilnih uređaja.....	29



## Popis programskih kodova

Programski kod 1: getAndroidId metoda.....	34
Programski kod 2: Autentifikacija uređaja na oblaku.....	35
Programski kod 3: DataStoreManager klasa .....	36
Programski kod 4: FusedLocationClient .....	37
Programski kod 5: Prikupljanje senzorskih podataka.....	38

## Prilozi

Prilog 1: Mobilna aplikacija dostupna na <https://github.com/NinoLoncar/iot-android-app>

Prilog 2: Mrežna aplikacija dostupna na <https://github.com/NinoLoncar/iot-web-app>