

mr. sc. Ivan Livaja¹
Zvonimir Klarin, mag.ing.comp.¹

UTJECAJ 5G MREŽE NA INTERNET STVARI

Stručni rad / Professional paper
UDK 004.7

Razvojem mobilnih komunikacijskih mreža mnogi su procesi u poslovnom i svakodnevnom životu unaprijeđeni. Mnoge kompanije ulažu velike količine novca u informatičke sustave kako bi unaprijedili poslovne procese, povećali učinkovitost i snizili troškove. U takvim procesima unapređenja sustava, neizbježan je pojam Internet stvari. Do sada se 4G mobilna mreža kroz svoje razvojne faze prilagođavala primjenama Interneta stvari, međutim, trenutna 4G tehnologija nije u mogućnosti ispuniti sve veće zahtjeve koji se postavljaju. Upravo će se uvođenjem nove 5G mobilne mreže omogućiti realizacija budućih primjena i ispunjavanje sve većih zahtjeva Interneta stvari. Cilj ovog rada je opisati način na koji funkcionira Internet stvari, prikazati neke od njegovih primjena, vidjeti kako 5. generacija mobilnih mreža utječe na razvoj istog te prikazati neke od izazova 5G mreža.

Ključne riječi: Internet stvari, 5G mreža, pametni grad.

1. Uvod

Internet stvari (eng. *Internet of Things* – IoT) je tehnologija koja omogućava da se stvari korištene u svakodnevnom životu mogu povezati putem Interneta i unaprijediti svoju funkcionalnost. Internet stvari je jedna od najbrže rastućih industrija današnjice čija se primjena može pronaći gotovo svugdje, u automobilima, automatiziranim postrojenjima, kućanskim aparatima, medicinskim uređajima i sl.

Autor termina *Internet of Things* je Kevin Ashton, kojeg je osmislio 1999. god. tijekom rada za kompaniju Procter&Gamble. Naziv je nastao kako bi se promovirala RFID² tehnologija, gdje bi se na proizvode postavljali tagovi i senzori kako bi se u svakom trenutku pratila njihova lokacija i stanje.³ Tehnološkim napretkom termin Internet stvari se proširio i danas obuhvaća mnogu veće područje, usvajajući novu terminologiju u skladu s tehnološkim razvojem i različitim područjima primjene. Internet stvari mijenja načine na koji izvršavamo naše svakodnevne aktivnosti, mijenja procese i postupke u raznim industrijama i u konačnici pomiče svijet prema sveprisutnoj umreženosti ljudi i uređaja.

¹ Veleučilište u Šibeniku

² RFID (*Radio-frequency identification*) je radio frekvencijska tehnologija koja nam služi za prijenos informacija između RFID čitača (eng. *reader*) i RFID transpondera (eng. *tag*)

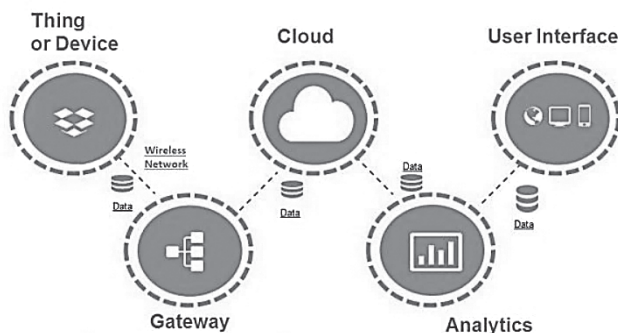
³ Elder, J., *How Kevin Ashton named The Internet of Things*. Dostupno na: <https://blog.avast.com/kevin-ashton-named-the-internet-of-things> (pristup: 17.01.2020.)

2. Princip rada Interneta stvari

Princip rada Interneta stvari se temelji na ugrađenim sensorima koji prikupljaju informacije iz okoline i šalju ih posredstvom komunikacijske mreže na obradu. Kod Interneta stvari uređaji mogu komunicirati međusobno bez posredovanja čovjeka (eng. *Machine to machine communication* – M2M). Velik broj IoT sustava se temelji na računarstvu u oblaku (eng. *Cloud computing*) gdje se ICT (eng. *Information and communications technology*) resursi poput infrastrukture (poslužitelji, sustavi za pohranu podataka) i programskih rješenja koriste kao usluga u "oblaku" kako bi se izbjegli troškovi izgradnje vlastite infrastrukture. Također, pojedini IoT sustavi generiraju velike količine podataka (eng. *Big data*) koji se trebaju obraditi i analizirati što predstavlja veliko opterećenje za infrastrukturu pojedinih poslovnih subjekata. Integracija s infrastrukturom računarstva u oblaku pruža načine učinkovite obrade velikih količina podataka bez značajnih troškova.

Svaki IoT uređaj u sebi ima ugrađene senzore te računalo koje njima upravlja. Uređaji prikupljaju podatke putem senzora i prosljeđuju IoT platformi posredstvom bežične komunikacijske mreže. Komunikacijska veza između senzora i platforme u "oblaku" se ostvaruje pomoću mrežnog pristupnika (eng. *Gateway*), čija je zadaća upravljanje protokom podataka i usklađenje mrežnih protokola kako bi se omogućila interoperabilnost između različitih sustava. IoT platforma je programski sustav obično temeljen na "oblaku" gdje se vrši obrada i analiza podataka i pomoću kojega je omogućen cjelokupni rad IoT sustava. Korisnik pristupa podacima pomoću korisničkog sučelja poput dodirnih panela, pametnih mobitela, računala i sl. (Slika 1).

Slika 1. Osnovne komponente Interneta stvari



Izvor: <https://www.rfpage.com/what-are-the-major-components-of-internet-of-things>

Kontinuiranim razvojem tehnologije omogućen je brzi razvoj samog koncepta Interneta stvari. Najveći doprinos je omogućila 4. generacija mobilnih mreža (4G). Međutim, zbog sve većih zahtjeva potrošačkog tržišta kao i industrije, 4G tehnologija je došla do svoje granice gdje nije u mogućnosti zadovoljiti buduće zahtjeve. Nove tehnologije i primjene IoT-a zahtijevaju velike brzine prijenosa podataka, pouzdanost, vrlo nisko vrijeme kašnjenja (eng. *latency*), otpornost, veliku pokrivenost, dugi vijek trajanja baterijskog napajanja, sigurnost i kapacitet (Tablica 1). Očekuje se da će nadolazeća 5G tehnologija mobilnih mreža omogućiti ispunjenje ovih zahtjeva i u konačnici osigurati ostvarenje punog kapaciteta primjene Interneta stvari.

Tablica 1. Ključni IoT komunikacijski zahtjevi

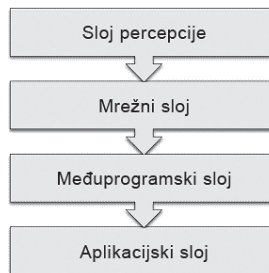
Velika brzina prijenosa podataka	Brzine prijenosa podataka iznad 1 Gbps
Pouzdanost	Visoka dostupnost mreže Broj izgubljenih paketa sveden na minimum
Otpornost	Mogućnost funkcioniranja u degradiranim uvjetima Nisko vrijeme konvergencije
Energetska učinkovitost	Dugi vijek trajanja baterijskog napajanja opreme
Niska latencija	Latencije komunikacijskih sustava ispod 10 ms (do 1 ms)
Pokrivenost	Pokrivenost vrlo velikih područja Duboka pokrivenost zatvorenih prostora Pokrivenost vozila u pokretu Mogućnost razvijanja i korištenja privatnih mreža
Sigurnost	Autentifikacija Enkripcija Detekcija napada
Kapacitet	Sposobnost rada mreže s velikim brojem korisnika

Izvor: Vermesan, O. i Bacquet, J., Next Generation Internet of Things: Distributed Intelligence at the Edge and Human Machine-to-Machine Cooperation, 2018.

2.1. Komponente arhitekture Interneta stvari

Premda postoji nekoliko različitih modela arhitekture IoT-a, općenito se IoT može prikazati kao četveroslojna arhitektura (Slika 2).⁴

Slika 2. Generička IoT arhitektura



Izvor: autori

2.1.1. Sloj percepcije

Sloj percepcije (eng. *Perception layer*) se sastoji od raznih podatkovnih senzora koji prikupljaju podatke iz okoline. Podatkovni senzori koje koriste IoT uređaji su najčešće u obliku RFID sustava, infracrvenih senzora ili drugih bežičnih mreža osjetila (eng. *Wireless sensor*

⁴ Farooq, M.; Waseem, M.; Khairi, A.; i Mazhar, S. (2015.) A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT), *International Journal of Computer Applications*, Vol. 111(7)/2015, str. 1-6

networks) pomoću kojih možemo očitati vrijednosti iz okoline poput temperature, vlažnosti zraka, lokacije, brzine i dr. U sloju percepcije se prikupljaju informacije objekata posredstvom senzornih uređaja koje se potom pretvaraju u digitalne signale i prenose mrežnom sloju na daljnju obradu.⁵

2.1.2. Mrežni sloj

Mrežni sloj (eng. *Network layer*) prima korisne informacije od sloja percepcije koje zatim prenosi međuprogramskom sloju koristeći različite komunikacijske tehnologije (npr. WiFi, Bluetooth, Zigbee, LoRa, mobilne mreže) kako bi se omogućio tok podataka između uređaja na istoj mreži.⁶

2.1.3. Međuprogramski sloj

Međuprogramski sloj (eng. *Middleware layer*) prikuplja informacije mrežnog sloja i pohranjuje ih u bazu podataka. Sastoji se od sustava za obradu informacija koji na temelju prikupljenih informacija izvršava automatizirane radnje. Kako IoT uređaji pružaju različite usluge, svaki uređaj komunicira samo s onim uređajima koji pružaju istu vrstu usluge. Ovaj sloj je uslužno orijentiran (eng. *Service-oriented*) što nam omogućava istu vrstu usluge među povezanim uređajima.⁷

2.1.4. Aplikacijski sloj

Kroz aplikacijski sloj (eng. *Application layer*) su realizirane brojne praktične primjene IoT-a temeljene na potrebama korisnika. IoT se koristi u brojnim industrijama kao npr. pametna kuća, autonomna vozila, pametno zdravstvo, pametan grad, pametna poljoprivreda i sl. Razvoj 5G mobilnih mreža uvelike utječe na rast IoT aplikacija. Nove aplikacije i poslovni modeli daljnjim razvojem IoT-a postavljaju sve veće zahtjeve poput sigurnosti, pokrivenosti bežičnim signalom, niske latencije, velike podatkovne propusnosti te visoke pouzdanosti za velik broj IoT uređaja.

3. Utjecaj 5G mreže na Internet stvari

Trenutne mobilne mreže (3G, 4G) nisu razvijane kako bi zadovoljile zahtjeve Interneta stvari, već im je namjena bila pružanje širokopojasnog Interneta za mobilne uređaje.⁸ U najvećoj mjeri to se odnosi na podršku M2M komunikacije, gdje se zahtjeva niska potrošnja energije, velika pokrivenost signalom, smanjena kompleksnost korisničke opreme i povratna kompatibilnost s postojećim mobilnim mrežama.⁹

⁵ Farooq, M.; Waseem, M.; Mazhar, S.; Khairi, A. i Kamal, T. (2015.) A Review on Internet of Things (IoT), *International Journal of Computer Applications*, Vol. 113(1)/2015, str. 1-7

⁶ Prajapati, M. (2017.) A Comprehensive Review on Technologies Applications of IoTs (Internet of Things), *International Journal of Engineering Development and Research*, Vol. 5(1)/2017

⁷ Farooq, M.; Waseem, M.; Khairi, A.; i Mazhar, S. (2015.) A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT), *International Journal of Computer Applications*, Vol. 111(7)/2015, str. 1-6

⁸ Li, S.; Xu, L. D. i Zhao, S. (2018.) 5G Internet of Things: A survey, *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 10/2018

⁹ Akpakwu, G. A.; Silva, B. J.; Hancke, G. P.; i Abu-Mahfouz, A. M. (2018.) A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges. *IEEE Access*, Vol. 6/2018, str. 3619-3647

Po tom pitanju učinjeni su pomaci gdje je postojeća *Long Term Evolution* (LTE) tehnologija naišla na nekoliko izmjena kako bi se omogućila M2M primjena. 3GPP¹⁰ standardizacijsko tijelo je u svome *Release 13* standardu predstavilo tri ključna standarda¹¹ koja će omogućiti razvoj masovno povezanih IoT uređaja i usluga poput pametnih gradova, pametnih kuća, nosivih uređaja (eng. *Wearable devices*) i dr.¹² Razvoj LTE IoT tehnologije je prvi korak ka ispunjavanju zahtjeva masovnog Interneta stvari sljedeće 5. generacije mobilnih mreža (eng. *5G Massive IoT*). Sljedeća specifikacija *Release 14* nadograđuje postojeće tehnologije kako bi se omogućio brži prijenos podataka, poboljšala mobilnost NB-IoT uređaja, povećala energetska učinkovitost i u konačnici omogućio razvoj 5G mobilne mreže.

3GPP je započela s radom na 5G specifikaciji 2015. godine. Prvi set 5G specifikacija je dovršen u ožujku 2019. godine u standardu *Release 15*, kao prva faza razvoja 5G sustava. Prve komercijalne 5G mobilne mreže bazirane na *Release 15* standardu su pokrenute u Južnoj Koreji i SAD-u u travnju 2019. godine. 3GPP nastavlja na radu *Release 16* standarda koji bi trebao biti dovršen polovinom 2020. godine.¹³ *Release 16* standard predstavlja drugu fazu razvoja 5G mobilne mreže kojim bi se trebao zaokružiti razvoj cjelovite 5G mobilne mreže.

Tri su ključne upotrebe 5G mreže koje će omogućiti širok spektar IoT primjena:

- *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) – korištenje 5G mreže u primjenama koje zahtijevaju bržu konekciju, veću propusnost i veći kapacitet sa širokom pokrivenošću signala.
- *Ultra-reliable and Low-latency Communications* (uRLLC) – odnosi se na zahtjeve niske latencije i visoke pouzdanosti kod kritičnih komunikacija koje zahtijevaju neprekinutu i robusnu razmjenu podataka, poput izvođenja operativnih zahvata na daljinu ili autonomnih vozila.
- *Massive Machine Type Communication* (mMTC) – zahtjevi za podrškom vrlo velikog broja uređaja (milijarde) koji šalju sporadično male količine podataka. Općenito, *Machine Type Communication* (MTC) se odnosi na komunikaciju između uređaja preko komunikacijske mreže bez posredstva čovjeka. Značajno za IoT primjene poput pametne poljoprivrede, pametnog grada, pametne kuće i dr.

Kako se 5G tehnologija uvodi postepeno u fazama, razvoj, testiranje i primjena se očekuje kroz sljedećih nekoliko godina. U početnoj fazi najveći utjecaj nove 5G tehnologije će imati eMBB primjene poput industrije pametnih mobitela, jer su početna uvođenja 5G mreže usklađena s potrebama potrošačkog tržišta. Kritične primjene koje zahtijevaju veliku pouzdanost i niske latencije (uRLLC) poput autonomnih vozila, industrijske automatizacije i sl. su dugoročni ciljevi čija će implementacija zahtijevati određeno vrijeme.¹⁴

Ključne značajke koje se očekuju od 5G mobilne tehnologije su brzine prijenosa podataka do 10 Gbs, latencije do 1ms, visoka pouzdanost, veliki kapacitet mreže, povećana energetska učinkovitost te snažna sigurnost (*Slika 3*), što će u konačnici omogućiti nova

¹⁰ 3rd Generation Partnership Project (3GPP) je standardizacijska organizacija za mobilnu telefoniju.

¹¹ Enhanced Machine-Type Communications (eMTC), Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) i Extended Coverage GSM for the Internet of Things (EC-GSM-IoT) tehnologija.

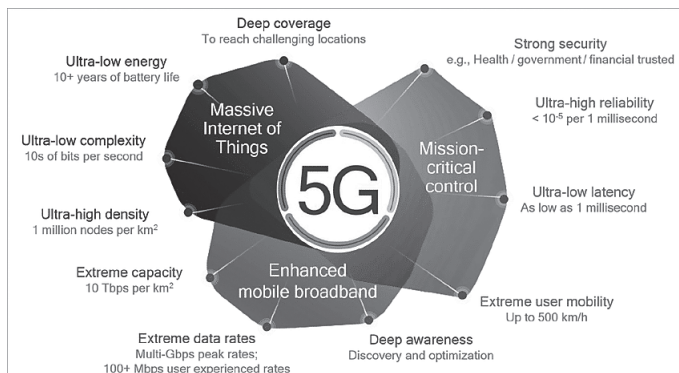
¹² Akpakwu, G. A.; Silva, B. J.; Hancke, G. P.; i Abu-Mahfouz, A. M. (2018.) A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges. *IEEE Access*, Vol. 6/2018, str. 3619-3647

¹³ Holma, H.; Toskala, A. i Nakamura, T. (2020.), *5G Technology: 3GPP New Radio*, Wiley

¹⁴ Builta, J., *5G Use Case Overview*. Dostupno na: <https://ihs-markit.foleon.com/technology/5g-is-coming-topical-report/5g-use-cases> (pristup: 05.03.2020.)

korisnička iskustva i nove usluge, povećati razinu učinkovitosti, povećati razinu automatizacije u industriji i smanjiti troškove poslovanja.

Slika 3. Glavne značajke 5G mobilne tehnologije



Izvor: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-5gvision-presentation.pdf>

3.1. Mrežno rezanje

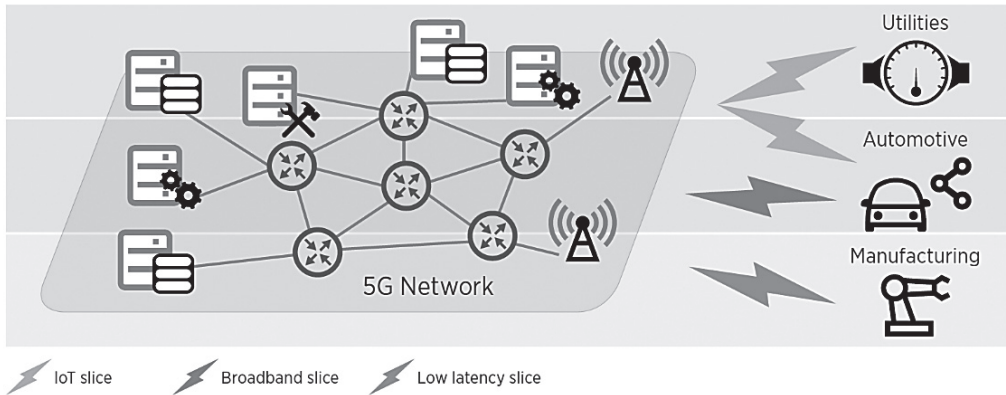
5G mreže su projektirane kako bi zadovoljile zahtjeve brojnih različitih industrija, od kojih svaka ima svoje specifične zahtjeve. Pojedine industrije mogu imati zahtjeve za velikim brzinama podataka s nešto višim latencijama, dok pojedine mogu imati zahtjeve za niskom latencijom i velikom pouzdanošću prijenosa podataka gdje brzina prijenosa nije od ključne važnosti. Upravo se pomoću tehnologije mrežnog rezanja (eng. *Network slicing*) omogućava prilagodba mreže prema različitim potrebama pojedine industrije. Mrežno rezanje je termin koji se odnosi na virtualnu mrežnu arhitekturu gdje se omogućava korištenje više virtualnih mreža unutar zajedničke fizičke infrastrukture. Započela se koristiti kod 4G LTE mreža i kao jedna od značajki 5G mreža će omogućiti mrežnim operaterima "rezanje" fizičke mreže na više logički neovisnih virtualnih mreža ovisno o aplikacijskim zahtjevima (Slika 4). Mrežno rezanje se temelji na programskim rješenjima preko SDN¹⁵ i NFV¹⁶ tehnologija koje nam omogućavaju fleksibilnost kreiranja logičkih virtualnih mreža prema specifičnim zahtjevima za određenu primjenu.¹⁷

¹⁵ *Software-Defined Networking (SDN)* je pristup mrežnoj arhitekturi kod kojeg se omogućava upravljanje mrežom koristeći programske aplikacije. SDN razdvaja upravljački sloj mreže (koji određuje gdje treba poslati podatke) i prepušta ga programskoj aplikaciji, od podatkovnog sloja (koji prosljeđuje podatke) kojeg prepušta sklopovlju.

¹⁶ *Network Function Virtualization (NFV)* je koncept razdvajanja mrežnih funkcija od sklopovlja i premještanja na virtualne poslužitelje, kako bi se izbjegli visoki troškovi i pojednostavilo održavanje.

¹⁷ Ordonez-Lucena, J.; Ameigeiras, P.; Lopez, D.; Ramos-Munoz, J.; Lorca, J. i Folguei, J. (2017.) Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures and Challenges, *IEEE Communications Magazin*, Vol. 55/2017, str. 80-87

Slika 4. 5G mreža podijeljena na više virtualnih mreža prema specifičnim zahtjevima pojedinih industrija



Izvor: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2017/11/GSMA-An-Introduction-to-Network-Slicing.pdf>

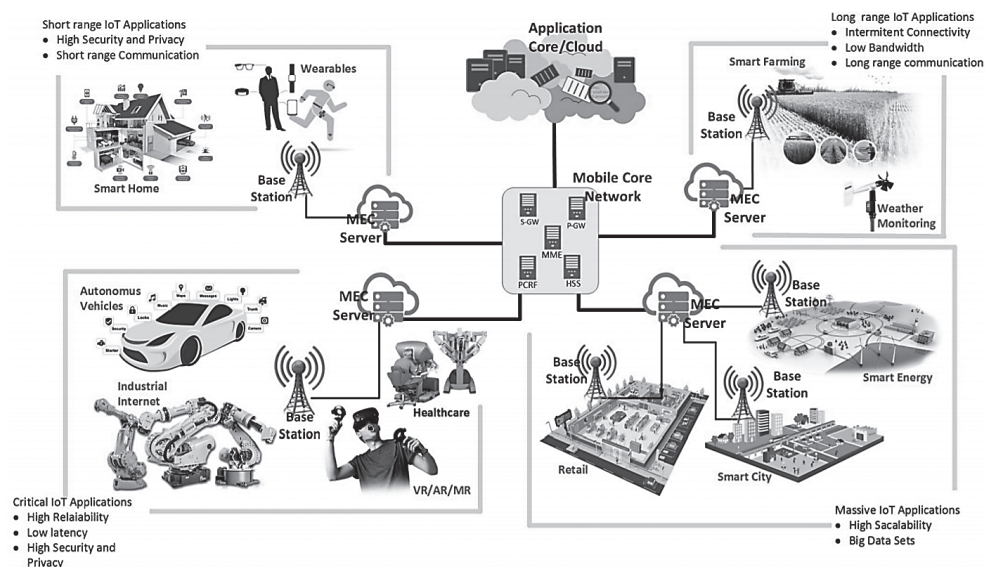
3.2. Računanje s višestrukim pristupom (MEC)

Svrha tehnologije računanja s višestrukim pristupom (eng. *Multi-access edge computing* – MEC)¹⁸ je pružanje IT usluga i usluga temeljenih na “oblaku” što bliže rubu (korisniku) mobilne mreže. MEC koncept mrežne arhitekture se temelji na ideji da se izvođenje operacija i procesuiranje obavlja bliže korisničkom rubu kako bi se smanjilo kašnjenje i u konačnici poboljšale performanse. Računarstvo u oblaku omogućava organizacijama prebacivanje prostora za pohranu podataka i procesorske snage trećoj strani kako bi olakšali poslovanje i snizili troškove. Kako je koncept računarstva u oblaku u suštini centraliziran, javljaju se određeni izazovi (jedinstvena točka kvara, dostupnost, latencija, lokacija) kod IoT primjena koje zahtijevaju visoku pouzdanost, velike brzine prijenosa podataka i niske latencije.¹⁹ MEC tehnologijom se zaobilaze ovi izazovi i omogućava IoT uređajima dostizanje sve većih zahtjeva, što čini IoT jednom od ključnih MEC primjena (Slika 5).

¹⁸ Prije poznato kao *Mobile edge computing*.

¹⁹ Porambage, P.; Okwuibe, J.; Liyanage, M.; Ylianttila, M. i Taleb, T. (2018.) Survey on Multi-Access Edge Computing for Internet of Things Realization, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 20(4)/2018, str. 2961-2991

Slika 5. IoT i MEC primjene



Izvor: Porombage, P.; Okwuibe, J.; Liyanage, M.; Ylianttila, M. i Taleb, T., Survey on Multi-Access Edge Computing for Internet of Things Realization, 2018.

4. Primjene 5G Interneta stvari

Prema *IoT Analytics*²⁰ procijenjeni broj povezanih IoT uređaja do kraja 2019. god. je bio 9,5 milijardi (ne uključujući pametne telefone, prijenosna računala, tablete i sl.), što je značajno više od ranije predviđanih 8,3 milijarde uređaja. Predviđa se da će do 2025. god. broj povezanih IoT uređaja narasti do 28 milijardi uređaja, ponajviše zahvaljujući 5G tehnologiji koja će omogućiti razne primjene Interneta stvari.²⁰ U ovom poglavlju ćemo nabrojati nekoliko primjena Interneta stvari s naglaskom na poboljšanja koja će donijeti 5G mobilna tehnologija.

4.1. Pametna kuća

Koncept pametne kuće (eng. *Smart home*) se odnosi na komunikacijski sustav gdje su ključni električni uređaji (hladnjaci, termostati, robotski usisavači, brave, portafoni, rasvjeta, sigurnosne kamere, utičnice, TV i audio sustavi, pećnice, senzori pokreta, sustavi klimatizacije i dr.) povezani i integrirani u jednu cjelinu te se mogu kontrolirati iz središnjeg izvora. Kao dio Interneta stvari, uređaji i sustavi pametne kuće međusobno komuniciraju razmjenjujući prikupljene podatke kako bi se automatizirali postupci sukladno korisnikovim preferencijama.²¹ 5G mobilna mreža donosi mnoge pogodnosti kod realizacije pametnih kuća koje se 4G tehnologijom nisu mogle postići. Povećanje brzine prijenosa podataka, smanjenje latencije i

²⁰ Lueth, K. L., *IoT 2019 in Review: The 10 Most Relevant IoT Developments of the Year*. Dostupno na: <https://iot-analytics.com/iot-2019-in-review> (pristup: 12.02.2020.)

²¹ *Smart home or building (home automation or domotics)*. Dostupno na: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-home-or-building> (pristup: 18.02.2020.)

povećanje energetske učinkovitosti značajno će povećati učinkovitost sustava pametnih kuća. Težnja je da se koncept pametne kuće integrira u koncept pametnog grada.²²

4.2. Pametni grad

Pametni grad (eng. *Smart city*) je u osnovi realiziran pomoću IoT tehnologije, gdje se dolaskom 5G mobilne mreže očekuje značajno unaprjeđenje mogućnosti. Kako je tendencija povećanja broja stanovništva u gradovima, sve većeg broja migracija iz ruralnih dijelova u gradove, upravljanje gradskim resursima i operacijama postaje od ključne važnosti za velike gradove s gledišta učinkovitosti i ekonomičnosti.²³ U suštini, pametni grad je digitalni grad gdje se uz pomoć ICT tehnologije upravlja kompletnom gradskom infrastrukturom. To uključuje upravljanje gradskim prometom, gradskim parkingom, javnim prijevozom, gradskom rasvjetom i signalizacijom, komunalnim otpadom, kontrolu kvalitete vode, praćenje situacija opasnih po javnu sigurnost i dr.²⁴ 5G mobilna tehnologija će omogućiti potpunu realizaciju koncepta pametnog grada, čiji su zahtjevi vrlo veliki. Povećanje brzine prijenosa podataka do 10 Gbps, smanjenje latencije do 1 ms, podrška za mMTC i mrežno rezanje su glavne značajke 5G mreže koje će doprinijeti razvoju pametnih gradova budućnosti.²⁵

4.3. Pametno zdravstvo

Pametno zdravstvo (eng. *Smart healthcare*) je zdravstveni sustav koji, koristeći tehnologije poput Interneta stvari, nosivih uređaja i mobilnih mreža, omogućava bolju dijagnostiku, bolji tretman pacijenata i općenito, bolju povezanost između osoba, institucija i uređaja unutar zdravstvenog sustava kako bi se pružile zdravstvene usluge na puno učinkovitiji način. Jedna od primjena pametnog zdravstva je udaljeni monitoring pacijenata u realnom vremenu gdje se uz pomoć IoT uređaja prati njihovo zdravstveno stanje. Također, IoT tehnologija se može koristiti za identifikaciju i monitoring pacijenata unutar bolničkih ustanova, menadžment medicinskog osoblja te praćenje lokacije i menadžment medicinske opreme i inventure u realnom vremenu.²⁶ 5G tehnologija svojim kapacitetom, niskim latencijama i pouzdanošću će omogućiti udaljeni monitoring velikog broja pacijenata i dobivanje podataka u realnom vremenu kako bi se omogućilo brzo donošenje odluka i pametno upravljanje cijelim zdravstvenim sustavom.

4.4. Pametna poljoprivreda

Tendencijom porasta broja svjetskog stanovništva sve je veća potreba za povećanjem proizvodnje hrane. Posljedično tome, u poljoprivrednoj industriji se sve više uvodi moderna

²² Skouby, K. E.; i Lynggaard, P. (2014.) Smart Home and Smart City Solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT Services, *IEEE International Conference on Contemporary Computing and Informatics*, 2014, str. 874-878

²³ Beheshti, B., *What 5G means for smart cities*. Dostupno na: <https://www.smartcitiesworld.net/opinions/opinions/what-5g-means-for-smart-cities> (pristup: 17.02.2020.)

²⁴ *Building Secure Smart Cities in the Age of 5G and IoT*. Dostupno na <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/smart-cities-in-the-age-of-5g-and-iot> (pristup: 17.02.2020.)

²⁵ Wray, S., *5G in the Smart City*. Dostupno na: <https://5g.co.uk/guides/5g-smart-city> (pristup: 18.02.2020.)

²⁶ Tian, S.; Yang, W.; Le Grange, J. M.; Wang, P.; Huang, W. i Ye, Z. (2019.) Smart healthcare: making medical care more intelligent, *Global Health Journal*, Vol. 3(3)/2019, str. 62-65

tehnologija, posebice Internet stvari, kako bi se optimizirali poljoprivredni procesi i pripremilo za buduće zahtjeve. Tako nastaje koncept pametne poljoprivrede (eng. *Smart agriculture*) gdje se primjenom tehnologije nastoje poboljšati proizvodni procesi kroz monitoring i automatizaciju. Primjenom IoT tehnologije putem brojnih senzora prikupljaju se potrebne informacije značajne za proces proizvodnje i omogućava se poljoprivrednicima trenutni uvid u stanje zemlje, poljoprivrednih kultura, stoke, logistike i mehanizacije.²⁷ Neki od primjera primjene su: potpuno autonomni poljoprivredni radni strojevi koji služe za sjetvu, dronovi koji kontroliraju zdravlje nasada i predviđaju vremenske uvjete, roboti koji se koriste za žetvu usjeva, pametni sustavi za navodnjavanje, sustavi za monitoring zdravstvenog stanja i stupanj zrelosti stoke i dr.²⁸ Uvođenjem 5G mreže i iskorištavanjem svih njenih značajki, doći će do velike ekspanzije primjena Interneta stvari u poljoprivredi.

4.5. Pametna industrija

Sve više proizvođača pronalazi načine kako bi unaprijedili svoje poslovanje kroz modernu tehnologiju. Upotreba tehnologije poput Interneta stvari, umjetne inteligencije, pametnih kognitivnih sustava u industriji, gdje se iz temelja mijenja način poslovanja i same proizvodnje, nazivamo četvrtom industrijskom revolucijom ili Industrija 4.0 (eng. *Industry 4.0*). Industrija 4.0 je naziv za trenutne trendove automatizacije i razmjene podataka u proizvodnim industrijama. Uključuje kibernetičko-fizičke sustave (eng. *Cyber-physical systems*), Internet stvari, računarstvo u oblaku i kognitivno računarstvo (eng. *Cognitive computing*). Ove tehnologije se koriste kako bi se stvorila "pametna tvornica" (eng. *Smart factory*), gdje strojevi, uređaji, sustavi i ljudi međusobno komuniciraju.²⁹ U industriji 4.0 Internet stvari ima ključnu ulogu gdje se povezuju i međusobno komuniciraju uređaji bez ljudskog utjecaja. Kako bi se razlikovalo područje primjene Interneta stvari, u industrijskoj primjeni govorimo o takozvanom industrijskom internetu stvari (eng. *Industrial Internet of Things – IIoT*). Zbog vrlo visokih zahtjeva Industrije 4.0 trenutni komunikacijski sustavi (poput 4G mobilne mreže) nisu dovoljni kako bi se tehnologije u potpunosti iskoristile. U primjenama Industrije 4.0 od velike važnosti za učinkovito funkcioniranje sustava su zahtjevi koji se očekuju uvođenjem potpunih 5G mreža, poput niske latencije (1 ms), povećanje brzine prijenosa (10 Gbs) i visoke pouzdanosti. Tehnologije značajne za postizanje ovih zahtjeva su MEC i tehnologija mrežnog rezanja.

4.6. Autonomna vozila

Internet stvari je uvelike promijenio automobilsku industriju gdje se bilježi eksponencijalni rast automobila sa značajkama autonomne vožnje. Autonomna vozila (eng. *Autonomous vehicles*) generiraju velike količine podataka koristeći stotine ugrađenih senzora. Upravljanje tolikom količinom podataka predstavlja veliki izazov trenutnoj 4G tehnologiji, gdje se zahtijeva sposobnost brze obrade velike količine podataka uz minimalno kašnjenje

²⁷ *5G and Smart Farming IoT – Promise of Making the World Green Again*. Dostupno na: <https://www.lanner-america.com/blog/smart-farming-iiot-5g-agriculture> (pristup: 20.02.2020.)

²⁸ *How the new era of 5g connectivity will enhance farming*. Dostupno na: <https://www.challenge.org/insights/5g-connectivity-for-farming> (pristup: 20.02.2020.)

²⁹ Rao, S. K. i Prasad, R. (2018.) Impact of 5G Technologies on Industry 4.0, *Wireless Personal Communications: An International Journal*, Vol. 100(1)/2018, str. 145-159

kako bi se simulirali ljudski refleksi.³⁰ Nakon cjelovitog usvajanja 5G mobilne mreže koja će ponuditi veće brzine prijenosa podataka i nižu latenciju, automobilskoj industriji će omogućiti brojne nove mogućnosti, naročito u V2V³¹ i V2X³² segmentu. To bi u konačnici povećalo sigurnost na cestama, smanjilo vrijeme putovanja te gust promet na cestama.

5. Izazovi 5G mreže

Prve implementacije 5G mreže koriste frekvencijski spektar od 3,3 do 4,2 GHz, kao balans između pokrivenosti i kapaciteta. Većina današnjih bežičnih komunikacija se odvija u mikrovalnom frekvencijskom pojasu ispod 3 GHz. Kako je mikrovalni pojas već poprilično zasićen i kako postoje ograničenja u tom pojasu zbog sve većih zahtjeva, pojavljuje se potreba za korištenjem viših frekvencijskih pojaseva.

Dodjeljivanje određenog frekvencijskog spektra za potrebe 5G mreže ovisi o nacionalnim regulatornim tijelima i razlikuje se od države do države. Europski regulatorni okvir za elektroničke komunikacije (European Electronic Communications Code – EEC) Direktiva (EU) 2018/1972 europskog parlamenta i vijeća iz prosinca 2018. je odredio da su pojasevi 3,4 – 3,8 GHz i 24,25 – 27,5 GHz prioritetni pojasevi za ostvarivanje ciljeva europskog Akcijskog plana za 5G,³³ dok su pojasevi 40,5 – 43,5 GHz i 66 – 71 GHz utvrđeni za daljnju studiju.³⁴ Regulatorni okvir propisuje da sve države članice moraju omogućiti uporabu frekvencijskih pojaseva od 3,4 – 3,8 GHz i 24,25 – 27,5 GHz za potrebe 5G mreža do 31. prosinca 2020. Obveza omogućavanja uporabe frekvencijskog pojasa 470 – 790 MHz u Europskoj uniji je prema Odluci (EU) 2017/899 do 30. lipnja 2020.

Zahtjevi za kapacitetom i brzinama prijenosa podataka postaju sve veći i kako 4G LTE tehnologija nije u stanju ispuniti takve buduće zahtjeve, u mobilnoj industriji su se počela tražiti rješenja za povećanjem trenutnog kapaciteta mobilnih mreža. Iz tog razloga 5G tehnologija će osim frekvencijskog pojasa ispod 6 GHz koristi više frekvencijske pojaseve koji do sada nisu bili u upotrebi. Radi se o frekvencijskom spektru od 24 GHz do 100 GHz, takozvanom milimetarsko-valnom pojasu (eng. *mmWave*), koji će omogućiti puno veće brzine prijenosa od postojećih gdje se koriste frekvencije ispod 6 GHz.

Kod korištenja *mmWave* pojasa javljaju se određeni problemi i ograničenja u usporedbi s nižim frekvencijskim pojasevima. Naime, elektromagnetski valovi na višim frekvencijama su puno kraćeg dometa i značajno su osjetljiviji na prepreke (objekti, stabla, ljudi). U milimetarsko-valnom pojasu zbog njegovih propagacijskih karakteristika, dolazi do velikog slabljenja snage signala prilikom širenja, signal je podložniji blokadama zbog smanjene difrakcije, dolazi do gubljenja snage signala zbog atmosferske apsorpcije signala (značajno smanjenje

³⁰ Llanasas, R., *5G's Important Role in Autonomous Car Technology*. Dostupno na: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21837614/5gs-important-role-in-autonomous-car-technology> (pristup: 19.02.2020)

³¹ Vehicle-to-vehicle (V2V) je bežična komunikacija između vozila.

³² Vehicle-to-everything (V2X) je bežična komunikacija između vozila i bilo kojeg drugog objekta koji može utjecati na vozilo.

³³ European Commission: *5G for Europe: An Action Plan, Brussels (2016)*. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-588-EN-F1-1.PDF> (pristup: 21.02.2020.)

³⁴ Direktiva (EU) 2018/1972 Europskog parlamenta i vijeća. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L1972&from=EN> (pristup: 21.02.2020.)

snage signala uslijed kiše ili snijega), *mmWave* signal ne penetrira (vrlo veliki gubitci) kroz zidove zgrada što otežava komunikaciju unutar zgrada.³⁵ Ovi izazovi korištenja *mmWave* pojasa se nastoje riješiti gustim razmještajem malih ćelijskih baznih stanica (eng. *cellular base station*), mMIMO i *Beamforming* tehnologijama.

5.1. Gusta mreža malih ćelijskih baznih stanica

Kako u *mmWave* frekvencijskom pojasu signali ne mogu prodirati kroz zidove i ograničen im je radijus širenja, kao rješenje se uvode gusto raspoređene male ćelije ili bazne stanice (eng. *small cell*) kako bi se signalom pokrila nedostupna područja. Radi se o razdvajanju velikih makro baznih stanica (eng. *macro cell*) na puno malih, gusto raspoređenih baznih stanica (*microcell*, *picocell*, *femtocell*) kako bi se povećao rubni kapacitet makro ćelija, brzina prijenosa podataka i općenito učinkovitost komunikacijske mreže. Komunikacijska mreža gdje su povezane i istodobno se koriste *macro*, *micro*, *pico* i *femto* ćelije se naziva Heterogena mreža (eng. *Heterogeneous network* – HetNet). Doseg malih vanjskih ćelija je obično 100 m, dok se one u unutrašnjosti zgrada kreću oko 10 m. Male bazne stanice se obično postavljaju na prometnim mjestima (prometnice, trgovački centri, sportski stadioni, aerodromi) i u unutrašnjosti zgrada kako bi se osigurao kvalitetan prijem 5G signala. Korištenjem malih ćelija omogućava se veća učinkovitost frekvencijskog spektra jer se iste frekvencije mogu ponovno koristiti na malom geografskom području.

5.2. Massive Multiple-input and Multiple-output (mMIMO)

mMIMO je tehnologija antena u bežičnim komunikacijama i jedna je od ključnih tehnologija 5G mobilnih mreža. Općenito, MIMO je tehnologija kod koje se koristi više odašiljačkih i prijemnih antena kako bi se omogućila višestazna (eng. *multipath*) propagacija signala istim radijskim kanalom, u cilju povećanja brzine prijenosa podataka, dometa signala i pouzdanosti. mMIMO je nadogradnja na MIMO tehnologiju gdje bazne stanice sadrže vrlo veliki broj antena (do nekoliko stotina). Značajka *mmWave* frekvencijskog pojasa su valovi malih valnih duljina (ispod 10 mm) što nam omogućava da veliki broj antena može biti kompaktnih dimenzija i jednostavno se implementirati unutar baznih stanica i korisničkih uređaja. mMIMO tehnologija omogućava kroz implementaciju velikog broja antena značajno povećanje snage signala, brzine prijenosa podataka i poboljšanu pouzdanost signala.

5.3. Beamforming

Beamforming tehnologija koristi više antena kako bi se kontrolirao smjer odašiljanja signala. Umjesto odašiljanja signala u svim smjerovima, kod mMIMO sustava algoritmi za procesuiranje signala formiraju koncentrirani snop koji je usmjeren prema korisniku. Na taj način se omogućava odašiljanje i primanje puno većeg broja podataka odjednom i smanjuje interferencija među različitim tokovima podataka.

³⁵ Al-Ogaili, F. i Shubair, R. M. (2016.) Millimeter-wave mobile communications for 5G: Challenges and opportunities, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, 2016, str. 1003-1004

Pored izazova u realizaciji i razvoja same tehnologije, dodatni izazov u razvoju 5G mobilnih mreža predstavlja razvoj i izgradnja dodatne infrastrukture, pokrivenost signala u ruralnim područjima, izrazito veliki troškovi izgradnje mreže i veliki sigurnosni izazovi koji će se pojaviti.

18. Zaključak

Internet stvari već sada ima široku primjenu, međutim, ograničenja trenutne 4G LTE mreže nam onemogućavaju ispunjenje budućih zahtjeva. Uvođenje 5G mobilne mreže bitno će utjecati na primjene Interneta stvari i pri tome uvelike promijeniti načine na koje obavljamo svakodnevne zadaće i načine na koje obavljamo posao. Primjene IoT-a će biti svugdje oko nas i u konačnici bi trebale utjecati na povećanje standarda života, očuvanje okoliša i ubrzanje raznih procesa. Potpune mogućnosti 5G tehnologije i Interneta stvari se neće dogoditi odmah, već se razvoj odvija u fazama gdje se očekuje ispunjenje zahtjeva kroz sljedećih nekoliko godina. Očekuje se da će ključni zahtjevi Interneta stvari biti učinkovito ispunjeni uvođenjem 5G mobilne mreže. Jedno od otvorenih pitanja vezanih za IoT je nedostatak univerzalnih standarda i protokola čije bi postojanje uvelike olakšalo implementaciju same tehnologije. Situacija danas je takva da svaka kompanija razvija vlastite standarde i protokole, što dodatno otežava realizaciju interoperabilnosti između različitih sustava. Kako se u IoT sustavima generira velika količina povjerljivih podataka (osobni podaci, poslovni podaci i dr.) te se može malicioznim napadima preuzeti kontrola nad fizičkim uređajima, sigurnost i privatnost se nameću kao jedni od ključnih izazova za kompanije uključene u razvoj IoT sustava.

LITERATURA

1. *3GPP: Release 14*. Dostupno na: <https://www.3gpp.org/release-14> (pristup: 09.01.2020.)
2. *3GPP: Release 15*. Dostupno na: <https://www.3gpp.org/release-15> (pristup: 09.01.2020.)
3. *3GPP: Release 16*. Dostupno na: <https://www.3gpp.org/release-16> (pristup: 09.01.2020.)
4. *5G and Smart Farming IoT – Promise of Making the World Green Again*. Dostupno na: <http://www.lanner-america.com/blog/smart-farming-iot-5g-agriculture> (pristup: 20.02.2020.)
5. Akpakwu, G. A.; Silva, B. J.; Hancke, G. P.; i Abu-Mahfouz, A. M. (2018.) A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges. *IEEE Access*, Vol. 6/2018, str. 3619-3647
6. Al-Ogaili, F. i Shubair, R. M. (2016.) Millimeter-wave mobile communications for 5G: Challenges and opportunities, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, 2016, str. 1003-1004
7. Beheshti, B., *What 5G means for smart cities*. Dostupno na: <https://www.smartcitiesworld.net/opinions/opinions/what-5g-means-for-smart-cities> (pristup: 17.02.2020.)
8. *Building Secure Smart Cities in the Age of 5G and IoT*. Dostupno na <https://www.paloalto-networks.com/cyberpedia/smart-cities-in-the-age-of-5g-and-iot> (pristup: 17.02.2020.)

9. Builta, J., *5G Use Case Overview*. Dostupno na: <https://ihs-markit.foleon.com/technology/5g-is-coming-topical-report/5g-use-cases> (pristup: 05.03.2020.)
10. *Direktiva (EU) 2018/1972 Europskog parlamenta i vijeća*. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L1972&from=EN> (pristup: 21.02.2020.)
11. Elder, J., *How Kevin Ashton named The Internet of Things*. Dostupno na: <https://blog.avast.com/kevin-ashton-named-the-internet-of-things> (pristup: 17.01.2020.)
12. *European Commission: 5G for Europe: An Action Plan, Brussels (2016)*. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-588-EN-F1-1.PDF> (pristup: 21.02.2020.)
13. Farooq, M.; Waseem, M.; Khairi, A. i Mazhar, S. (2015.) A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT), *International Journal of Computer Applications*, Vol. 111(7)/2015, str. 1-6
14. Farooq, M.; Waseem, M.; Mazhar, S.; Khairi, A. i Kamal, T. (2015.) A Review on Internet of Things (IoT), *International Journal of Computer Applications*, Vol. 113/2015, str. 1-7
15. Holma, H.; Toskala, A. i Nakamura, T. (2020.), *5G Technology: 3GPP New Radio*, Wiley
16. *How the new era of 5g connectivity will enhance farming*. Dostupno na: <https://www.challenge.org/insights/5g-connectivity-for-farming> (pristup: 20.02.2020.)
17. Køien, G. i Abomhara, M. (2014) Security and privacy in the Internet of Things: Current status and open issues, *International Conference on Privacy and Security in Mobile Systems (PRISMS)*, 2014
18. Li, S.; Xu, L. D. i Zhao, S. (2018.) 5G Internet of Things: A survey, *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 10/2018
19. Llanasas, R., *5G's Important Role in Autonomous Car Technology*. Dostupno na: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21837614/5gs-important-role-in-autonomous-car-technology> (pristup: 19.02.2020)
20. Lueth, K. L., *IoT 2019 in Review: The 10 Most Relevant IoT Developments of the Year*. Dostupno na: <https://iot-analytics.com/iot-2019-in-review> (pristup: 12.02.2020.)
21. McEwen, A. i Cassimally, H. (2014.), *Designing the Internet of Thing*, Wiley
22. Ordonez-Lucena, J.; Ameigeiras, P.; Lopez, D.; Ramos-Munoz, J.; Lorca, J. i Folguei, J. (2017.) Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures and Challenges, *IEEE Communications Magazin*, Vol. 55/2017, str. 80-87
23. Porambage, P.; Okwuibe, J.; Liyanage, M.; Ylianttila, M. i Taleb, T. (2018.) Survey on Multi-Access Edge Computing for Internet of Things Realization, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 20(4)/2018, str. 2961-2991
24. Prajapati, M. (2017.) A Comprehensive Review on Technologies Applications of IoTs (Internet of Things), *International Journal of Engineering Development and Research*, Vol. 5(1)/2017
25. *Qualcomm : Leading the world to 5g (2016)*. Dostupno na: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-5g-vision-presentation.pdf> (pristup: 02.03.2020.)

26. Rao, S. K. i Prasad, R. (2018.) Impact of 5G Technologies on Industry 4.0, *Wireless Personal Communications: An International Journal*, Vol. 100(1)/2018, str. 145-159
27. Tian, S.; Yang, W.; Le Grange, J. M.; Wang, P.; Huang, W. i Ye, Z. (2019.) Smart healthcare: making medical care more intelligent, *Global Health Journal*, Vol. 3(3)/2019, str. 62-65
28. Skouby, K. E.; i Lynggaard, P. (2014.) Smart Home and Smart City Solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT Services, *IEEE International Conference on Contemporary Computing and Informatics*, 2014, str. 874-878
29. *Smart home or building (home automation or domotics)*. Dostupno na: <https://Internet-oft-hingsagenda.techtarget.com/definition/smart-home-or-building> (pristup: 18.02.2020.)
30. *The Emergence of 5G mmWave*. Dostupno na: <https://www.accton.com/Technology-Brief/the-emergence-of-5g-mmwave> (pristup: 10.01.2020.)
31. Vermesan, O. i Bacquet, J. (2018.), *Next Generation Internet of Things: Distributed Intelligence at the Edge and Human Machine-to-Machine Cooperation*. River Publishers
32. Wray, S., *5G in the Smart City*. Dostupno na: <https://5g.co.uk/guides/5g-smart-city> (pristup: 18.02.2020.)

Summary

IMPACT OF 5G NETWORK ON INTERNET OF THINGS (IOT)

With development of mobile communication networks, many business processes and everyday life experience have been improved. Many companies invest large amounts of money in IT systems to improve business processes, increase efficiency and reduce costs. In such system improvement processes, the concept of Internet of Things is inevitable. So far, through its development stages, the 4G mobile network has been adapting to the use cases of the Internet of Things. However, current 4G technology is unable to meet the emerging requirements that are being placed. With the introduction of the new 5G mobile network, it will be possible to realize future applications and meet the growing requirements of the Internet of Things. The aim of this paper is to describe how the Internet of Things works, show some of its applications, see how the 5th generation of mobile networks is influencing development of the IoT, and to present some of the challenges of 5G networks.

Keywords: *Internet of Things, 5G network, Smart city.*

