

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 7157

**PROCJENA ISKUSTVENE KVALITETE MOBILNIH IGARA
ZASNOVANIH NA RAČUNALNOM OBLAKU PUTEM 5G
MREŽE**

Roko Jurić

Zagreb, lipanj 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 7157

**PROCJENA ISKUSTVENE KVALITETE MOBILNIH IGARA
ZASNOVANIH NA RAČUNALNOM OBLAKU PUTEM 5G
MREŽE**

Roko Jurić

Zagreb, lipanj 2021.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7157

Pristupnik: **Roko Jurić (0036508849)**

Studij: Računarstvo

Modul: Telekomunikacije i informatika

Mentor: prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov

Zadatak: **Procjena iskustvene kvalitete mobilnih igara zasnovanih na računalnom oblaku putem 5G mreže**

Opis zadatka:

Igre zasnovane na računalnom oblaku (engl. cloud gaming) je usluga mrežnog igranja koja omogućuje strujanje sadržaja igre od poslužitelja do klijenta u obliku video sadržaja, dok se kontrole za igranje šalju u suprotnom smjeru. S razvojem 5G mreže, koja omogućuje niski odziv i visoku mrežnu propusnost, mnogobrojne tvrtke su prepoznale tržišni potencijal igara zasnovanih na računalnom oblaku i razvijaju vlastita rješenja ove usluge mrežnog igranja. Vaš zadatak je provesti korisničko testiranje iskustvene kvalitete tijekom korištenja usluge igara zasnovanih na računalnom oblaku. Testiranje će se odvijati korištenjem 5G mreže i bežične mreže, tijekom kojega će se manipulirati propusnost i mrežno kašnjenje. Potrebno je analizirati utjecaj propusnosti i mrežnog kašnjenja na iskustvenu kvalitetu za vrijeme oba scenarija, te usporediti dobivene rezultate za 5G i bežičnu mrežu. Svu potrebnu literaturu i uvjete za rad osigurat će Vam Zavod za telekomunikacije.

Rok za predaju rada: 11. lipnja 2021.

Sadržaj

Uvod	1
1. Igre zasnovane na računalnom oblaku.....	2
1.1. Razvoj igara zasnovanih na računalnom oblaku	3
1.2. Trenutno stanje igara zasnovanih na računalnom oblaku.....	3
2. 5G mreža.....	5
2.1. Povijest 5G mreže.....	5
2.2. Glavne značajke 5G mreže	6
3. Procjena iskustvene kvalitete mobilnih igara zasnovanih na računalnom oblaku putem 5G mreže.....	7
3.1. Iskustvena kvaliteta	7
3.2. Usporedba kodeka H.264 i H.265	7
3.3. Arhitektura testne mreže.....	8
3.4. Metodologija ispitivanja.....	8
3.2.1. Ispitni scenariji	9
3.2.2. Demografski podatci sudionika	11
4. Analiza rezultata	14
4.1. Analiza subjektivnih ocjena ispitanika u odnosu na parametre videokodiranja pri strujanju videozapisa	14
4.1.1. Iskustvena kvaliteta	14
4.1.2. Kvaliteta grafike	15
4.1.3. Odziv	15
4.1.4. Usporedba zadnje igranog scenarija s predzadnje igranim scenarijem	16
4.2. Analiza subjektivnih ocjena ispitanika u odnosu na stanje mreže pri strujanju videozapisa	17
4.2.1. Iskustvena kvaliteta	17
4.2.2. Kvaliteta grafike	18
4.2.3. Odziv	19
4.3. Analiza objektivnih mjerila stanja u mreži za vrijeme testiranja	20
4.3.1. Preuzimanje videozapisa zaslona s konzole PlayStation 5.....	20
4.3.2. Slanje igračevih kontrola konzoli PlayStation 5.....	22
Zaključak	24
Literatura	25
Sažetak.....	27
Summary.....	28

Uvod

Igre zasnovane na računalnom oblaku (engl. cloud gaming) noviji su koncept, prvi put predstavljen na konferenciji E3 2000 [1] godine, ali do većeg razvoja došlo je tek u zadnjih desetak godina. Zamišljene su kao način da se korisnici sa slabijim računalima pretplate na uslugu koja ih poveže na snažnije poslužitelje na kojima se odvijaju proračuni potrebni za prikaz kompleksnih igara, te se krajnjem korisniku struja sadržaj zaslona, a poslužitelju se strujaju korisnikove upravljačke komande.

Do sad je najveća zamjerka igrama zasnovanim na računalnom oblaku bila ta da zahtijevaju veliku propusnost i niska kašnjenja da bi iskustvo igranja bilo dovoljno dobro. Ta činjenica rušila je iskustvenu kvalitetu korisnicima s niskom brzinom pristupa Internetu od doma te u velikoj mjeri onemogućavala mobilnu primjenu usluge. No, postupna popularizacija 5G mreže u kombinaciji s rastućim veličinama zaslona pametnih telefona možda može ponuditi rješenje problema igranja igara namijenjenih za računala i konzole u pokretu.

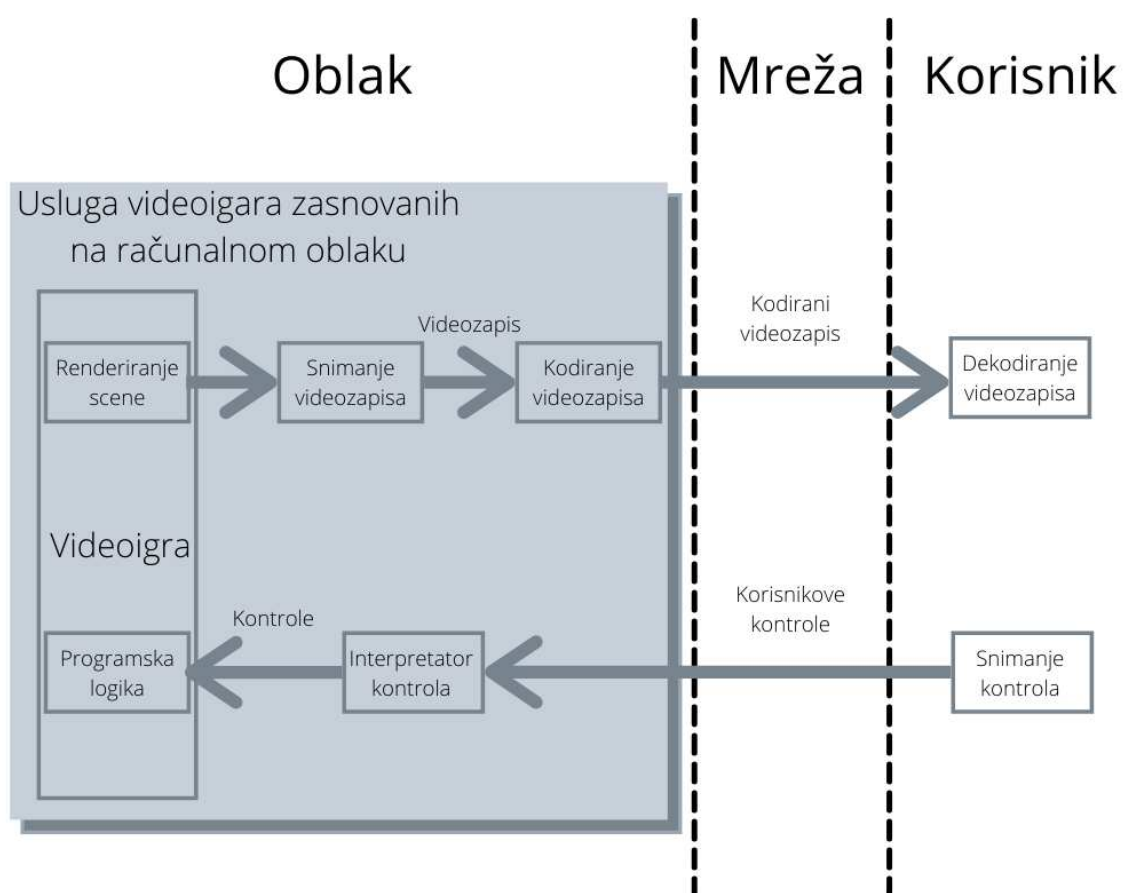
Zbog većih propusnosti koje 5G omogućava, moguće je igrati igre namijenjene za računala ili konzole na mobilnim uređajima koji nisu dovoljno snažni za lokalno pokretanje igara. Ta mogućnost ima potencijala uvelike olakšati svakodnevnu vožnju javnim prijevozom, čekanje reda u javnim ustanovama ili ispunjavanje praznog vremena u pauzama između obaveza.

Cilj je ovog rada provesti ispitivanje iskustvene kvalitete igara zasnovanih na računalnom oblaku koristeći pametne telefone koji će se povezivati na 4G i na 5G mrežu. Sudionici će tijekom ispitivanja davati ocjene vezane uz ukupnu kvalitetu, kvalitetu grafike, kašnjenja u mreži i odziv. Obzirom da će se u ispitnim scenarijima mijenjati i kodek (H.264 [2] i H.265 [3]) usporedit će se i njegov utjecaj na ocjene.

Rad je podijeljen u 4 poglavlja. U prvom poglavlju opisane su igre zasnovane na računalnom oblaku, njihova povijest, razvoj do danas i primjeri dostupnih usluga. U drugom poglavlju opisana je 5G mreža, njena povijest i razvoj do danas. U trećem poglavlju opisana je arhitektura mreže koja se koristila za korisničko ispitivanje te metodologija ispitivanja. U četvrtom poglavlju analizirani su rezultati dobiveni ispitivanjem.

1. Igre zasnovane na računalnom oblaku

Paradigma igara zasnovanih na računalnom oblaku zamišljena je na način da se videozapis zaslona struja klijentu s poslužitelja, a kontrole se šalju s klijenta poslužitelju [4]. Izvođenje programske logike videoigre, renderiranje 3D scene videoigre i kodiranje videozapisa obavlja poslužitelj, dok je klijent zadužen za dekodiranje videozapisa te snimanje i slanje igračevih kontrola. Dok takav pristup znatno smanjuje zahtjeve na klijentski uređaj, i na taj način omogućuje igranje grafički zahtjevnijih videoigara, zahtjevi na mrežu, pogotovo na brzinu preuzimanja klijenta i mrežno kašnjenje puno su veći. Osnovna arhitektura igara zasnovanih na računalnom oblaku prikazana je na slici 1.1.



Slika 1.1 Arhitektura usluge igara zasnovanih na računalnom oblaku [5]

Rastuća popularnost videoigara zasnovanih na računalnom oblaku jasna je iz više razloga. Videoigre zasnovane na računalnom oblaku pružaju prednost i igračima i razvojnim timovima [6]. Igračima pruža mogućnost pristupa i igranja vlastite kolekcije videoigara neovisno gdje se nalazili, kao i kupnju ili posuđivanje videoigara te rjeđe kupovanje nove i snažnije računalne opreme. Razvojnim timovima, igre zasnovane na računalnom oblaku, pružaju jednostavnost razvijanja, u vidu toga da razvijaju proizvod samo za jednu platformu (ona koju koristi usluga za videoigre), zaobilaze prodavače koji im uzimaju velike postotke od svake prodaje, olakšava dopiranje do igrača i olakšava izbjegavanje piratizacije, pošto se videoigra nikad ne preuzima i ne instalira na korisnikovo računalo.

Od 106 pružatelja telekomunikacijskih usluga koji pružaju komercijalne 5G usluge, 22 su najavila dostupnost usluga igara zasnovanih na računalnom oblaku na odvojenoj pretplati ili kao uslugu u paketu s 5G podatkovnim paketom [7]. Većina ponuda od 19 pružatelja komunikacijskih usluga pretplata je na uslugu igara u partnerstvu s davateljem usluga igara zasnovanih na računalnom oblaku. Broj dostupnih igara obično se kreće od 30 do više od 100. Ovisno o davatelju usluga igara, mjesečne pretplate obično se kreću od 6 do 18 USD. Uz to, nekoliko pružatelja telekomunikacijskih usluga besplatno uključuje uslugu igara zasnovanih na računalnom oblaku na nekim od svojih skupljih tarifa. Mnoge igre koje su trenutno dostupne mogu se igrati putem 4G mreže i ne trebaju 5G za dobru iskustvenu kvalitetu. Međutim, realistične igre i igre koje žele zadubiti igrača u igru, stvaraju bolje iskustvo tijekom korištenja 5G, jer zahtijevaju veću propusnost i manje kašnjenje. Važan je cilj partnerstva između pružatelja telekomunikacijskih usluga i pružatelja igara zasnovanih na računalnom oblaku istražiti kako i 5G i 4G mrežama treba upravljati i optimizirati ih da podržavaju visoki QoE.

1.1. Razvoj igara zasnovanih na računalnom oblaku

U ovom potpoglavlju bit će opisana povijest i dosadašnji razvoj igara zasnovanih na računalnom oblaku. Kroz nekoliko godina od prvog konceptualiziranja do danas, dogodio se veliki napredak na području igara zasnovanih na računalnom oblaku. Danas postoji više usluga igara zasnovanih na računalnom oblaku (potpoglavlje 1.2) s mnogo dostupnih igara.

- 2000 – G-cluster demonstrira igre zasnovane na računalnom oblaku na E3 konferenciji [1].
- 2005 – tvrtka za razvoj igara Crytek započinje istraživanje igara zasnovanih na računalnom oblaku za svoju igru Crysis, ali zaustavlja istraživanje 2007. jer smatra da infrastruktura još nije spremna [8].
- 2010 – OnLive pokreće svoju uslugu. Sony ga kupuje 2015. i gasi.
- 2012 – startup Gaikai pokreće svoju uslugu zamišljenu kao način reklamiranja igara. Kupljen od strane Sony-a 2012 [9].
- 2013 – Nvidia predstavlja uslugu GRID, kasnije joj mijenja ime u GeForce Now.
- 2017 – Francuski startup Blade pokreće uslugu Shadow, gdje je korisnik mogao iznajmiti udaljenu instancu Windows-a 10 u podatkovnom centru, sa snažnim performansama.
- 2018 – Google pokreće zatvorenu betu Stadije, Microsoft najavljuje Project xCloud koji koristi Azure poslužitelje.
- 2019 – Google službeno pušta u rad Google Stadiu [10].
- 2020 – Amazon pokreće svoju uslugu igara zasnovanih na računalnom oblaku nazvanu Luna.

1.2. Trenutno stanje igara zasnovanih na računalnom oblaku

Puno se promijenilo od začetaka igara zasnovanih na računalnom oblaku 2000. godine. Od tada se poboljšala internetska infrastruktura, došli su snažni pametni telefoni sa sve većim zaslonima koji mogu služiti kao još jedan uređaj za igranje. Neke od usluga koje pružaju igre zasnovane na računalnom oblaku su:

- Shadow [11]– jedan od prvih velikih pružatelja usluge, iako nije samo pružatelj igara zasnovanih na računalnom oblaku, već pruža puni Windows 10 desktop, najpoznatiji je zbog mogućnosti igranja igara. Dostupan je na skoro svim vrstama uređaja i operacijskih sustava, uključujući Windows, Linux, macOS, Android i iOS.
- GeForce Now [12]– jedna od najpoznatijih usluga za igranje igara zasnovanih na računalnom oblaku, napravljena od strane Nvidie, ima ogroman katalog dostupnih igara, besplatne i plaćene razine usluge, i generalno dobre performanse. Usluga je dostupna na platformama Windows, Mac, i Android kroz aplikacije, te također kroz Google Chrome (beta) i Safari preglednike na nepodržanim uređajima i operacijskim sustavima.
- Google Stadia [10]– lansirana 2019. godine, korisnici moraju kupiti igre koje će igrati, a dostupno je na svakom uređaju koji može pokrenuti Google Chrome preglednik.
- Steam Link [13]– služi za strujanje igara s osobnog uređaja, ne s poslužitelja, na druge uređaje. Usluga je besplatna i ugrađena u platformu Steam te radi sa svakom igrom koju korisnik ima u svojoj knjižnici. Aplikacija je dostupna na operacijskim sustavima Windows, macOS i Linux kroz Steam Client App, a na Androidu i iOSu kroz zasebne Steam Link aplikacije.
- Moonlight [14]– aplikacija otvorenog koda, također služi za strujanje sa osobnog uređaja i malo je kompliciranija za koristiti od Steam Link-a, jer za napraviti preglednik treba koristiti Moonlight Internet Hosting Tool, dok je na Steam Linku dovoljno povezati aplikaciju s osobnim računalom.

2. 5G mreža

5G peta je generacija tehnološkog standarda za širokopojasne mobilne mreže, koji su tvrtke za pametne mobitele počele primjenjivati širom svijeta 2019. godine, a planirani je nasljednik 4G mreže koja pruža povezanost s većinom današnjih uređaja [15]. Prema GSM udruženju, predviđa se da će 5G mreže do 2025. imati više od 1,7 milijardi korisnika širom svijeta. Poput svojih prethodnika, 5G mreže su pokretne mreže, u kojima je područje pružanja usluge podijeljeno na mala geografska područja koja se nazivaju ćelije. Svi 5G bežični uređaji u ćeliji povezani su na Internet i telefonsku mrežu radio valovima kroz lokalnu antenu u ćeliji. Glavna prednost novih mreža je u tome što će imati veću propusnost, omogućavajući veće brzine preuzimanja [16]. Zbog povećane propusnosti, očekuje se da će se mreže sve više koristiti kao opći pružatelji internetskih usluga za prijenosna računala i stolna računala, a omogućit će i nove aplikacije iz domene Interneta stvari (engl. Internet of Things, IoT). Za korištenje 5G mreže potrebno je imati uređaje koji imaju mogućnost povezivanja na 5G mrežu.

2.1. Povijest 5G mreže

Prvu generaciju mobilnih mreža (1G) razvio je Nippon Telegraph and Telephone i pustio u korištenje u Tokiju 1979. godine [17]. Pokrivenost i kvaliteta zvuka bile su loše, nije bilo podrške u roamingu između različitih operatera, a kako su različiti sustavi radili na različitim frekvencijskim rasponima, nije bilo kompatibilnosti između sustava. Još gore od toga je što pozivi nisu bili šifrirani, pa je svatko tko je imao radio skener mogao prislušivati razgovor.

GSM (skraćeno od eng. Global System for Mobile Communications) je standard razvijen od strane ETSI-a (skraćeno od eng. European Telecommunications Standards Institute) za opisivanje protokola druge generacije (2G) digitalnih mobilnih mreža. U rad je pušten prvi put u Finskoj 1991. godine [18].

3G treća je generacija mobilne mreže, a zasnovan je na skupini standarda koji podlažu IMT-2000 specifikaciji [19]. 3G po prvi put uvodi komutaciju paketa u mobilnu sferu, što omogućava korisnicima da plaćaju samo onaj promet koji iskoriste. No 3G je mučilo nekoliko problema, od potrebe za novim uređajima koji ga podržavaju, što nije bilo jeftino, visoka potrošnja energije i komplicirana arhitektura.

Četvrta generacija mobilne mreže (4G, često zvan i LTE od eng. Long Term Evolution) mora zadovoljiti zahtjeve postavljene od strane ITU-a i IMT Advanced. Zahtijevane brzine preuzimanja narasle su na 100 Mb/s za pokretne primjene i 1 Gb/s za stacionarne. Te velike brzine omogućile su kvalitetnu IP telefoniju, igranje videoigara, strujanje videozapisa visoke kvalitete i videokonferenciranje. Ali ni 4G nije prošao bez svojih poteškoća. Jedna od najvećih je to što korisnici za vrijeme telefonskog poziva nisu mogli pristupiti mreži, zbog čega je nastao VoLTE (skraćeno od eng. Voice over LTE).

5G peta je generacija mobilne mreže. Više o njenim značajkama u potpoglavlju 2.2.

2.2. Glavne značajke 5G mreže

Predviđene maksimalne brzine preuzimanja do 20 Gb/s te maksimalne predviđene brzine slanja od 10 Gb/s donose velike promjene [16]. 5G mreže trebale bi imati kašnjenje manje od 5ms, stoga će mreža biti brža od vremena koje je čovjeku potrebno za obradu vizualnog signala, što omogućuje daljinsko upravljanje uređajima u gotovo stvarnom vremenu. Brzina ljudske reakcije postat će ograničavajući faktor za udaljene primjene koje koriste 5G i IoT. Iako će poljoprivreda, proizvodnja i logistika imati koristi od nižeg kašnjenja, igrači videoigara također željno očekuju uvođenje 5G. Kombinacija velike brzine i niskog kašnjenja idealna je za primjene virtualne stvarnosti (eng. Virtual Reality, skraćeno VR) i proširene stvarnosti (eng. Augmented Reality, skraćeno AR), koje će vjerojatno porasti u popularnosti jer poboljšanja povezanosti stvaraju imerzivno (engl. immersive) iskustvo.

5G pružat će kapacitet od 10^6 korisnika/km² [16], stvarajući plodno tlo za razvoj IoT-a. S kapacitetom za milijune uređaja koji neometano komuniciraju, procvat će nove aplikacije i slučajevi upotrebe za gradove, tvornice, farme, škole i domove. Jedan od mogućih načina upotrebe 5G-a uključuju tisuće senzora na stotinama različitih strojeva koji automatiziraju procese upravljanja opskrbnim lancem, osiguravajući pravovremenu dostavu materijala uz predviđanje održavanja kako bi se zastoji u radu sveli na minimum.

Kombinacija povećane brzine i mrežnog kapaciteta na 5G mrežama omogućuju prijenos većih količina podataka nego što je to bilo moguće s 4G mrežama. Izvedba 5G mreže drugačija je od izvedbe 4G mreže iz razloga što 5G koristi veće frekvencije radiovalova, koji slabije prolaze kroz prepreke, stoga će trebati puno više pristupnih točaka, što omogućuje veću optimizaciju mrežnog prometa i nesmetano rukovanje porastom potrošnje. Iako su korisnici željni iskusiti blagodati 5G-a, pokrivenost je i dalje ograničena [20].

3. Procjena iskustvene kvalitete mobilnih igara zasnovanih na računalnom oblaku putem 5G mreže

Obzirom da 4G mreža uglavnom pruža dovoljno veliku propusnost, u našem ispitivanju fokusirali smo se na subjektivno ocjenjivanje kašnjenja i grafičke kvalitete, uspoređivanje 4G i 5G mreže, te usporedbu između H.264 [2] i H.265 [3] kodeka u svrhu igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku. Cilj je ispitivanja bolje razumjeti zahtjeve korisnika, te ustanoviti koji mrežni parametri i koliko utječu na iskustvenu kvalitetu (eng. Quality of Experience, skraćeno QoE) igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku.

3.1. Iskustvena kvaliteta

Iskustvena kvaliteta (QoE) stupanj je oduševljenja ili uznemirenosti korisnika aplikacije usluge. Rezultat je ispunjenja njegovih ili njezinih očekivanja u pogledu korisnosti i/ili uživanja u aplikaciji ili usluzi uzimajući u obzir korisnikovu osobnost i trenutno stanje [20]. QoE može se mjeriti na dva načina, subjektivni QoE koji je zasnovan na upitnicima, skalama i intervjuima, i objektivni QoE, koji je baziran na tehničkom QoS-u (skraćeno od eng. Quality of Service) [5]. Ocjena iskustvene kvalitete se izražava kao MOS (skraćeno od eng. Mean Opinion Score)

QoE-om može se upravljati kroz 4 koraka. Prvi je korak korisnička studija, gdje se prikupljaju subjektivne i objektivne mjere korištenja neke usluge. Drugi je korak razvoj modela pomoću procjene iskustvene kvalitete na osnovu odabranih parametara. Treći je korak prikupljanje relevantnih parametara i procjena iskustvene kvalitete na osnovu modela. Četvrti je korak kontrola i optimizacija relevantnih parametara.

Kada se gleda QoE u sferi videoigara, neki od utjecaja ispitanika i stanja ispitanika na ocjenu su iskustvo s igranjem videoigara, iskustvo sa specifičnom videoigrom ili žanrom videoigre, unutarnja i vanjska motivacija ispitanika, statistički i dinamički ljudski faktori (statički faktori su dob, spol i materinji jezik ispitanika, a dinamični su dosada, znatiželja, zainteresiranost, itd.). Neki od utjecaja sustava na kojem se provodi testiranje su mreža i stanje mreže (propusnost, kašnjenje, itd.), igra (dinamičnija ili manje dinamična, prostorno ili vremenski zahtjevna, itd.) te uređaj koji se koristi za testiranje (veličina zaslona, težina, prenosivost, itd.) [22].

3.2. Usporedba kodeka H.264 i H.265

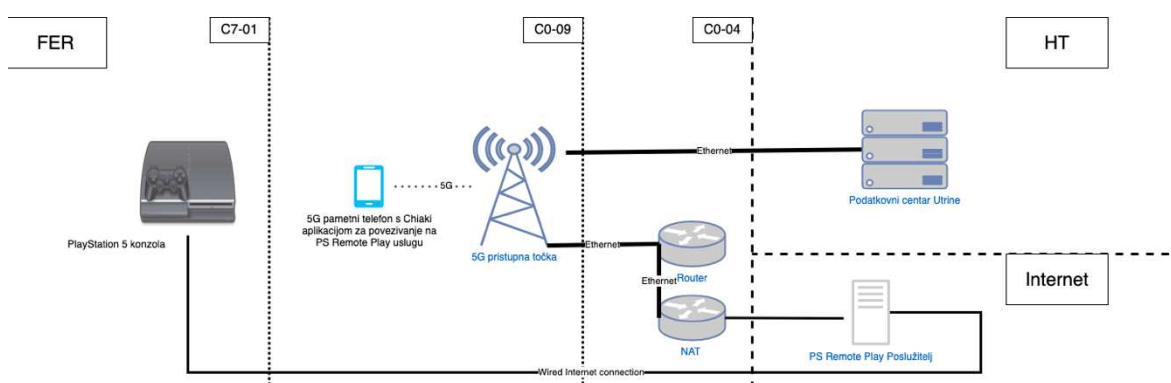
H.264 i H.265 hibridni su kodeci, koji uz entropijsko kodiranje (bez gubitaka) koriste i metode s gubicima, kako bi dodatno povećali omjer kompresije. Dok su glavne primjene H.264 Blu-ray diskovi (1080p do 4K), HDTV (720p), i HD DVD (1080p), H.265 podržava HDTV rezolucije i UHD TV (8K) [23].

Kodek H.265 pruža dvostruko manje brzine kodiranja u odnosu na kodek H.264, uz istu vizualnu kvalitetu. To postiže korištenjem blokova veličine od 8p:8p do 64p:64p (dok H.264 koristi blokove fiksne veličine 16p:16p) što mu omogućava češće pronalaženje

sličnosti i diferencijalnog kodiranja, inverzne diskretne kosinusne transformacije (H.264 koristi diskretnu kosinusnu transformaciju manjih blokova). Zbog veće količine blokova koje koristi, kodek H.265 može postići puno veće omjere kompresije, ali njegovo izvođenje duže traje. S druge strane, kodek H.264 zbog manje veličine blokova ima manji omjer kompresije, ali je zato brži.

3.3. Arhitektura testne mreže

Za pristup 4G mreži korištena je javna mreža Hrvatskog Telekom (HT), dok je za spajanje na 5G mrežu korištena testna 5G pristupna točka postavljena u prizemlju FER-ove C zgrade. HT je na FER-u postavio testnu 5G campus mrežu u prosincu 2020. godine [24]. Arhitektura 5G mreže korištene u svrhu istraživanja prikazana je na slici 3.1.1.



Slika 3.1 Arhitektura testne 5G mreže na FER-u

Sa slike 3.1 vidljivo je da se PlayStation 5 prilikom pokretanja strujanja prvo spaja na PlayStation Remote Play poslužitelj radi autentifikacije te da se 5G pametni telefon spaja na 5G pristupnu točku na FER-u, koja nakon toga šalje podatke podatkovnom centru u Utrinama, isto radi autentifikacije. Nakon toga pametni telefon i PlayStation 5 normalno razmjenjuju podatke kao u svakom drugom klijent – poslužitelj sustavu.

3.4. Metodologija ispitivanja

Za potrebe testiranja iskustvene kvalitete odabrane su igre Rocket League [25] i Thumper [26]. Pri odabiru igara bilo je važno odabrati igre na kojima će se moći kvalitetno ispitati iskustvena kvaliteta, pošto su to igre koje zahtijevaju što manje kašnjenje, a da su u isto vrijeme dovoljno jednostavne za igrati na zaslonu pametnih telefona te da ih igrači koji nemaju iskustva mogu relativno brzo savladati.

Igre su se pokretale na konzoli PlayStation 5 [27] koja se nalazila na 7. katu C zgrade na FER-u, i strujale su se na pametne telefone koristeći PS Remote Play [28] funkcionalnost. Remote Play funkcionalnost omogućuje igranje videoigre pokrenute na PlayStation konzoli na nekom drugom uređaju koristeći tehnologiju videoigara zasnovanih na računalnom oblaku.

Aplikacija pomoću koje su se strujale igre na pametnom telefonu je Chiaki [29], aplikacija otvorenog koda, koja omogućava strujanje preko 4G i 5G mreže, pošto je to na službenoj PlayStation aplikaciji onemogućeno zbog štednje podatkovnog prometa.

Za ispitivanje su korištena 2 pametna telefona Huawei Mate 20 X (5G). Specifikacije pametnih telefona su sljedeće [30]. Jedan od njih bio je spojen na 4G, a drugi na 5G mrežu. Za parametre videa pri strujanju odabrana je brzina kodiranja od 20000 Mbps i rezolucija 1080p. Specifikacije pametnih telefona su:

- Procesor: Kirin 980
- Grafička kartica: Mali-G76 MP10
- Radna memorija: 8GB
- Prostor za pohranu podataka: 256 GB

3.2.1. Ispitni scenariji

Parametri koji su mijenjani tijekom ispitivanja su mreža (4G i 5G), igra (Rocket League i Thumper) i kodek (H.264 i H.265). Kombiniranjem ovih parametara u parove, unutar kojih se mijenja samo mreža, i zamjenom redoslijeda radi nasumičnosti, dobiveno je sljedećih 8 ispitnih scenarija, od kojih je svaki ispitanik igrao po 4, scenarij 1 ili 2, scenarij 3 ili 4, scenarij 5 ili 6, te scenarij 7 ili 8, poredano nasumično na način da se uvijek igraju prvo scenariji jedne, pa onda scenariji druge igre. Svi ispitni scenariji prikazani su u tablici 3.2.

Tablica 3.2 Ispitni scenariji

Testni scenarij	Mreža A	Igra A	Kodek A	Mreža B	Igra B	Kodek B
1	4G	Rocket League	H.264	5G	Rocket League	H.264
2	5G	Rocket League	H.264	4G	Rocket League	H.264
3	4G	Rocket League	H.265	5G	Rocket League	H.265
4	5G	Rocket League	H.265	4G	Rocket League	H.265
5	4G	Thumper	H.264	5G	Thumper	H.264
6	5G	Thumper	H.264	4G	Thumper	H.264
7	4G	Thumper	H.265	5G	Thumper	H.265
8	5G	Thumper	H.265	4G	Thumper	H.265

Razlog mijenjanja kodeka tijekom ispitivanja je taj da kodek može utjecati na kvalitetu grafike i kašnjenje. Kodek H.265 je noviji, algoritamski složeniji od kodeka H.264 i stoga ima bolji omjer kompresije, ali zbog toga uvodi dodatno kašnjenje.

Ispitivanje je provedeno na 15 ispitanika tijekom 2 tjedna (od 28. travnja do 7. svibnja) u prostorijama FER-a, a ispitanici su, uz demografski upitnik, nakon svakog ispitnog scenarija, koji je trajao 3 minute, bili pitani sljedeća pitanja:

- Kako ocjenjujete ukupnu kvalitetu iskustva igranja igre? (skala dana u tablici 3.3.)
- Kako ocjenjujete kvalitetu grafike strujanja videa igre? (skala dana u tablici 3.3.)
- Primijetio/la sam kašnjenje između mojih akcija i ishoda. (skala dana u tablici 3.5.)

- Responzivnost mojih unosa je kako sam i očekivao/la. (skala dana u tablici 3.5.)
- Moji unosi bili su primijenjeni glatko. (skala dana u tablici 3.5)
- Kvaliteta drugog testa u paru u usporedbi s kvalitetom prvog testa u paru. – CCR skala sa 7 opcija za usporedbu [31]

Tablica 3.3 ACR skala (skraćeno od eng. Absolute Category Rating) s 5 opcija za ocjenjivanje ukupnog QoE-a i grafičke kvalitete

MOS ocjena	Opis
1	Bad
2	Poor
3	Fair
4	Good
5	Excellent

Tablica 3.4 Likertova skala sa 7 opcija za ocjenjivanje responzivnosti i slaganja

MOS Ocjena	Opis
1	Strongly disagree
2	Disagree
3	Somewhat disagree
4	Undecided
5	Somewhat agree
6	Agree
7	Strongly agree

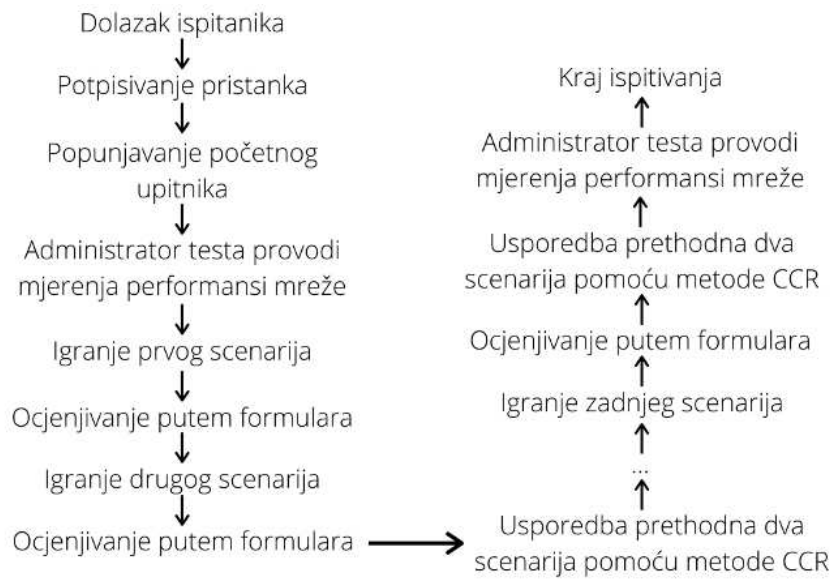
Tablica 3.5 CCR skala sa 7 opcija za usporedbu [31]

MOS Ocjena	Opis
-3	Much Worse
-2	Worse
-1	Slightly worse
0	About the same
1	Slightly better
2	Better
3	Much better

CCR (skraćeno od eng. Comparison Category Rating) skala služi za usporedbu nakon testiranja dva slučaja, gdje ispitanik daje odgovor koliko je drugi ispitni slučaj bio bolji ili gori u odnosu na prvi. Kod analize se, zbog nasumičnosti, predznak (npr. Scenarija 2) mora promijeniti kako bi CMOS mogao računati zajedno s CMOS-om scenarija 2.

Prije i poslije svakog ispitanika mjereni su parametri mreže na oba pametna telefona, propusnosti koristeći aplikaciju Speedtest, a ping koristeći aplikaciju Ping Tools pinganjem adrese labat.tel.fer.hr jer se nalazi u istoj mreži kao i PlayStation 5, kojeg nije bilo moguće pingati.

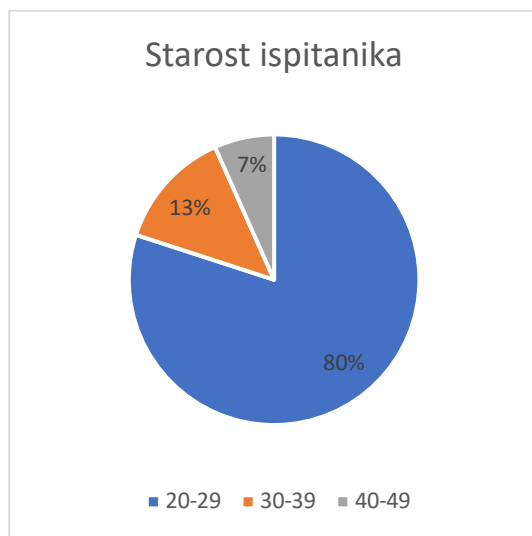
Postupak samog testiranja prikazan je na slici 3.6.



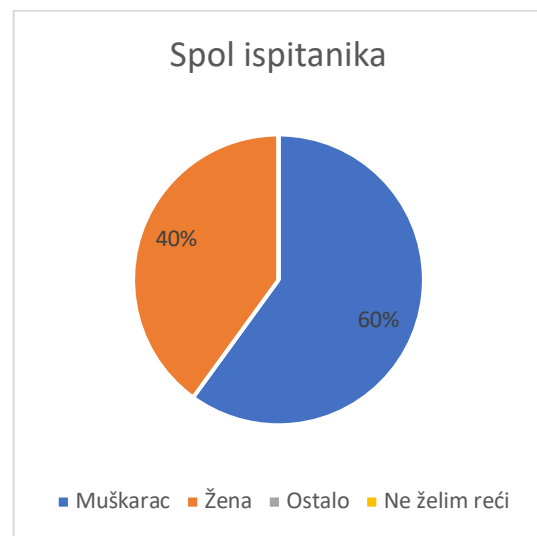
Slika 3.6 Metodologija ispitivanja

3.2.2. Demografski podatci sudionika

U ispitivanju je sudjelovalo 15 osoba. Raspodjela spolova je vidljiva na slici 3.8, a starost ispitanika na slici 3.7.

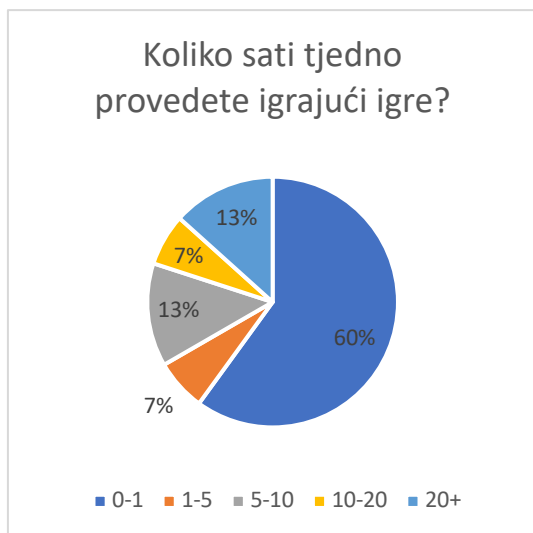


Slika 3.7 Starost ispitanika

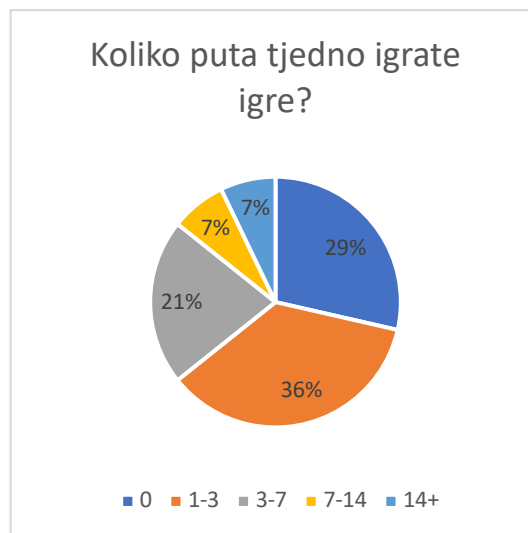


Slika 3.8 Spol ispitanika

Većina ispitanika tjedno provede od 0-1 sati igrajući igre (slika 3.9) i to najčešće raspoređeno na 1-3 puta tjedno (slika 3.10)

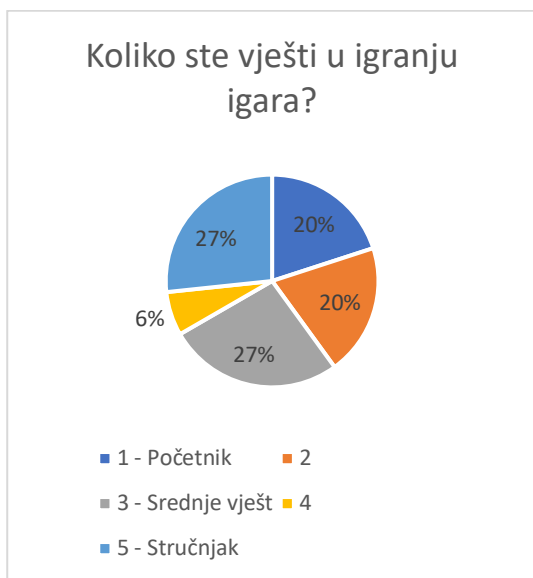


Slika 3.9 Broj sati igranja tjedno

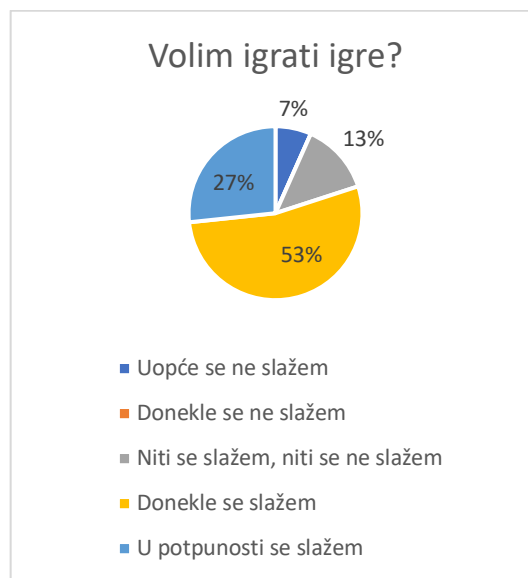


Slika 3.10 Broj puta igranja tjedno

Većina ispitanika je za sebe rekla da su vješti ili stručnjaci u igranju igara (slika 3.11), a većina ispitanika je na pitanje vole li igrati igre odgovorila da se donekle slažu (slika 3.12).



Slika 3.11 Vještina ispitanika

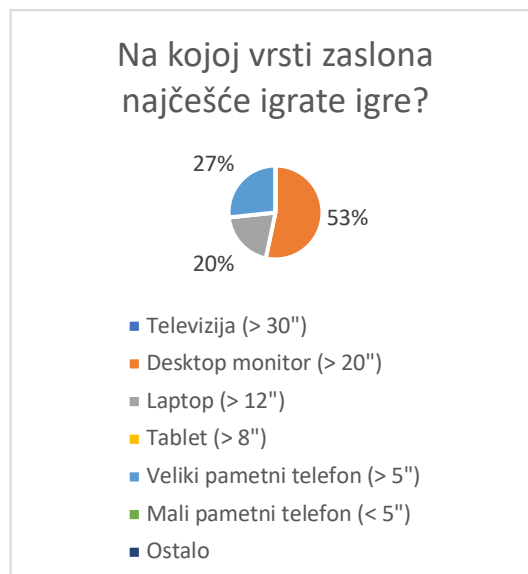


Slika 3.12 Ljubav prema igranju igara

Kada su bili upitani na kojoj vrsti uređaja najčešće igraju, većina ispitanika je odgovorila da najčešće igraju na osobnom računaru (slika 3.13), a kao odgovor na pitanje na kojoj vrsti zaslona najčešće igraju, većina je odgovorila na desktop monitoru (slika 3.14).

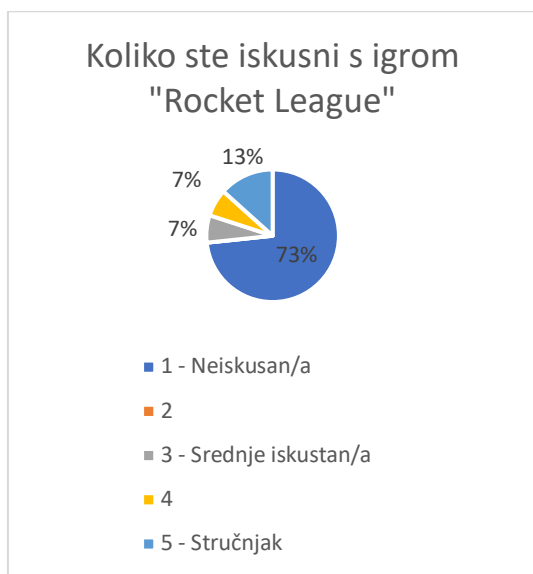


Slika 3.13 Vrsta uređaja

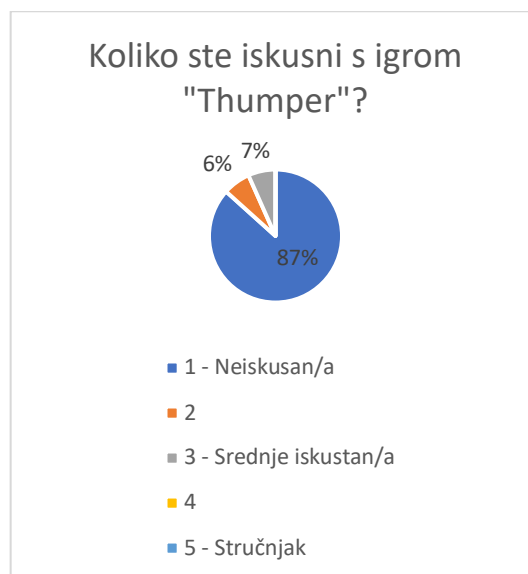


Slika 3.14 Vrsta zaslona

S igrama na kojima će testirati, većina ispitanika nije bila upoznata. S igrom Rocket League 73% ispitanika nema iskustva (slika 3.15), dok s igrom Thumper čak 82% nema iskustva (slika 3.16).



Slika 3.15 Razina iskustva - Rocket League



Slika 3.16 Razina iskustva - Thumper

4. Analiza rezultata

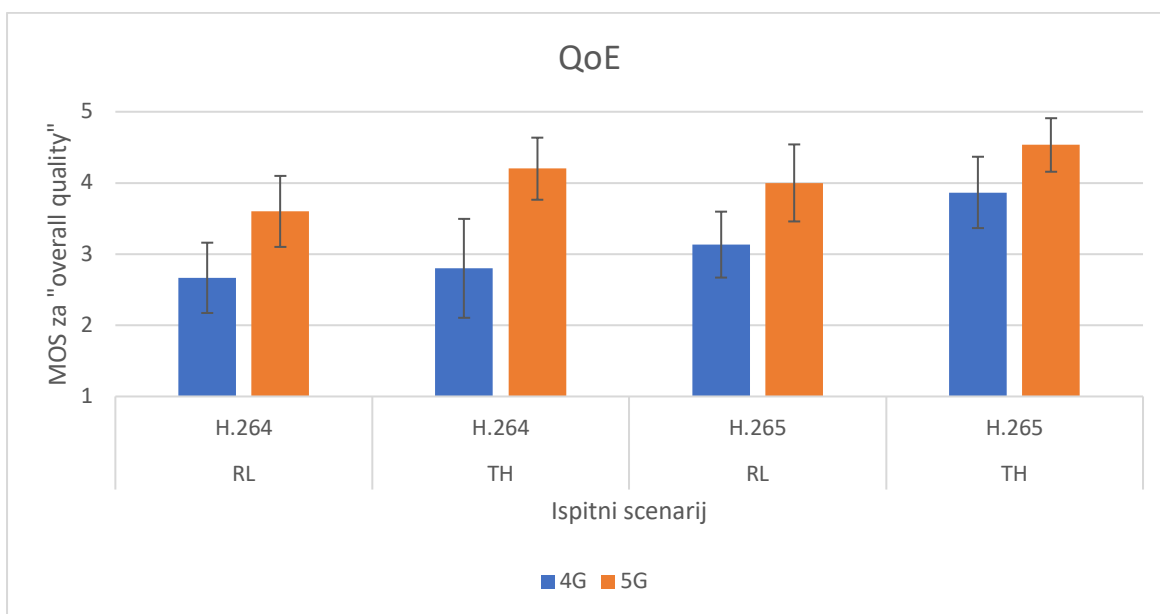
U ovom poglavlju analizirat će se razni rezultati prikupljeni za vrijeme ispitivanja. Poglavlje je podijeljeno na 3 potpoglavlja. U prvom potpoglavlju analizirat će se ocjene koje su ispitanici davali za vrijeme igranja u odnosu na parametre kodeka, u drugom potpoglavlju analizirat će se odnos subjektivnih ocjena ispitanika i podataka o stanju mreže za vrijeme testiranja, a u trećem potpoglavlju bit će napravljena analiza objektivnih mjerila za vrijeme testiranja.

4.1. Analiza subjektivnih ocjena ispitanika u odnosu na parametre videokodiranja pri strujanju videozapisa

U ovom potpoglavlju fokus je na analizi subjektivnih ocjena ispitanika u odnosu na parametre strujanja videozapisa tijekom igranja. Analiza je podijeljena na 4 dijela, iz razloga što su ispitanici pitani za ocjenu o ukupnoj iskustvenoj kvaliteti, kvaliteti grafike, odzivu te usporedbi zadnjeg igranog scenarija sa predzadnjim.

4.1.1. Iskustvena kvaliteta

Prvi prikazani rezultati ocjene su ukupne iskustvene kvalitete, a nalaze se na grafu na slici 4.1.



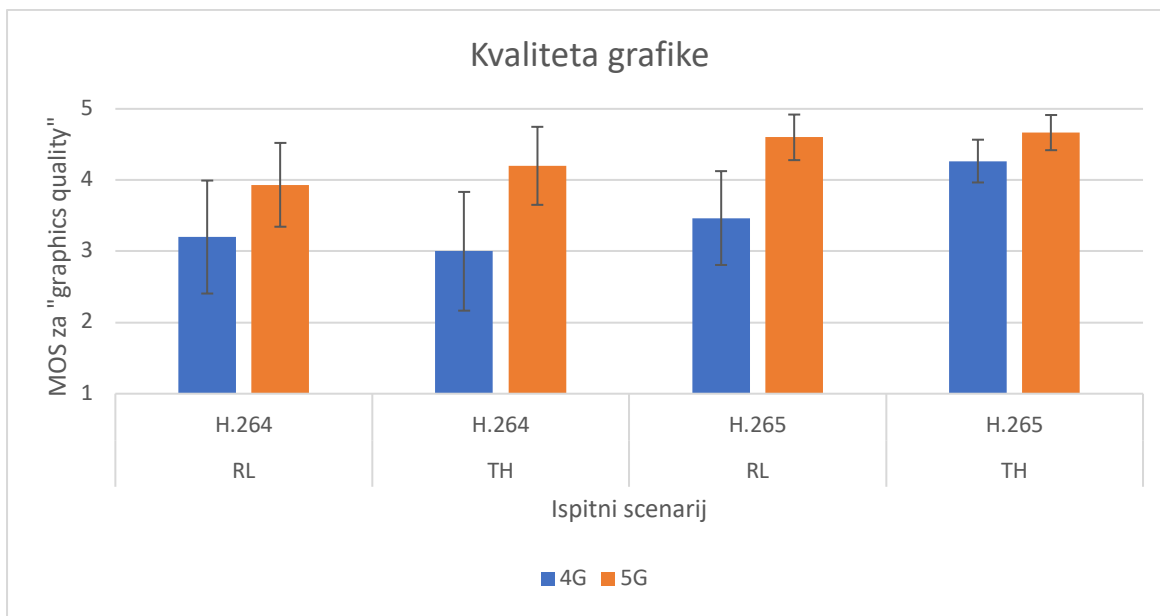
Slika 4.1 MOS za ukupni QoE (s intervalima pouzdanosti 95%)

S grafa možemo iščitati da je najveću razliku u ocjenama, neovisno o ispitnom scenariju, činila mreža preko koje je igrač bio spojen na Play Station sustav preko kojeg se strujao videozapis. Vidljivo je da su scenariji gdje se koristi 4G lošije ocjenjeni od scenarija s istim postavkama kodeka gdje se koristi 5G. S grafa također uočavamo da je u usporedbi

scenarija gdje je igra i mreža ista, scenarij gdje se koristi kodek H.265 bolje ocijenjen od scenarija gdje se koristi kodek H.264. Vidljiva je i razlika između igara, gdje je Thumper dobio veće ocjene od Rocket League-a, vjerojatno zbog jednostavnosti igranja i manje prostorne kompleksnosti igranja od Rocket League-a.

4.1.2. Kvaliteta grafike

Ocjene za kvalitetu grafike se nalaze na grafu na slici 4.2.

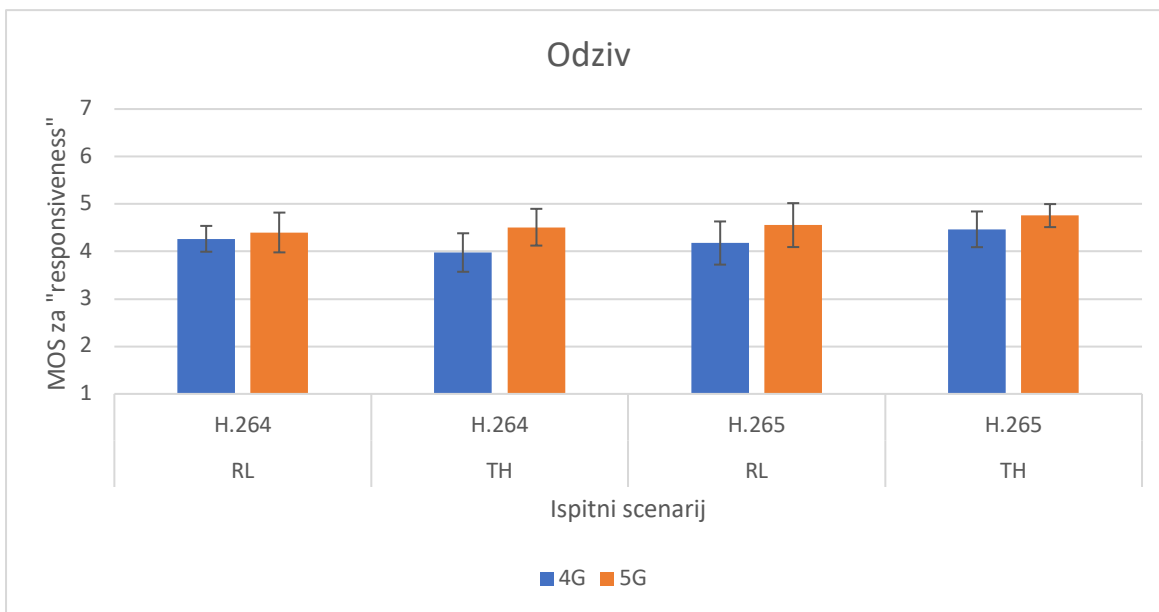


Slika 4.2 MOS za kvalitetu grafike (s intervalima pouzdanosti 95%)

Na ovom grafu također uočavamo da najveća razlika u ocjenama ovisi o mreži, gdje 4G konzistentno ima nižu ocjenu od 5G slučaja. Također kao i za prijašnji graf, vidimo da kodek H.265 ima veću ocjenu od kodeka H.264, što je i očekivano, jer bolje komprimira podatke pa više podataka „stane“ u 20Mb/s na koje smo zaključali propusnost. Vidljivo je da je u H.265 scenarijima igra Thumper konzistentno bolje ocijenjena od Rocket League-a, vjerojatno zato što je grafički dizajn igre jednostavniji, što omogućava kodeku H.265 da bolje radi nego na H.264 slučajevima.

4.1.3. Odziv

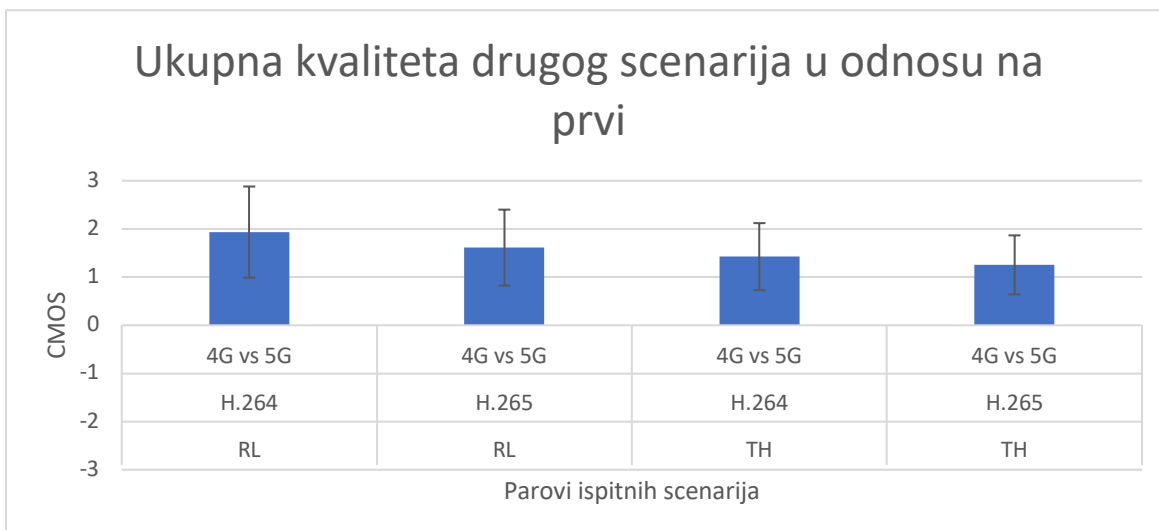
Graf sa ocjenama za odziv, koje su ispitanici dali nakon ispitivanja, nalaze se na slici 4.3. Na prvi pogled nam nije jasno zašto je tako mala razlika u ocjenama scenarija na 4G-u i 5G-u, pogotovo ako 5G obećava puno manja kašnjenja paketa u odnosu na 4G do te mjere da ljudskom oku to kašnjenje nije primjetno. Zbog određenih uočenih poteškoća tijekom testiranja (vezanim uz rad NAT (skraćeno od eng. Network Address Translation) uređaja) u velikom broju slučajeva se primjetilo da nije došlo do velikih razlika u kašnjenju između 5G i 4G mreže. NAT koji je bio ugrađen u mrežu nije bio produkcijske kvalitete i nije se mogao nositi s opterećenjem koje su testni slučajevi zahtijevali pa je unosio određeno manje kašnjenje. 4G slučajevi su išli preko javne mreže, gdje nije bilo problema s NAT-om.



Slika 4.3 MOS za odziv (s intervalima pouzdanosti 95%)

4.1.4. Usporedba zadnje igranog scenarija s predzadnje igranim scenarijem

Sjetimo se iz poglavlja o metodologiji testiranja, scenariji 1 i 2 su isti, osim što je redoslijed slučajeva A i B zamijenjen. Stoga je graf koji je vidljiv na slici 4.4 napravljen CCR metodom [31].



Slika 4.4 CMOS za parove slučajeva (s intervalima pouzdanosti 95%)

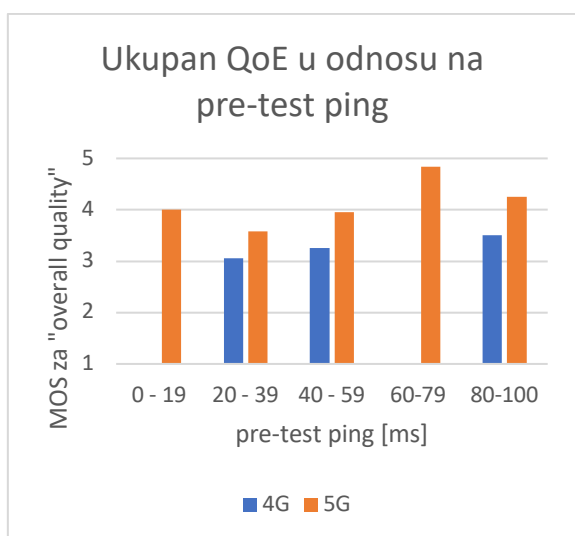
Iz grafa se vidi da 5G scenariji imaju bolje ocjene za ukupnu kvalitetu od slučajeva sa 4G-om gdje su ostale postavke videokodiranja iste. Također se vidi i da su slučajevi u kojima se koristi kodek H.264 imali bolje ocjene od slučajeva s kodekom H.265. Rezultati potvrđuju ono što smo već vidjeli na slici 4.1.

4.2. Analiza subjektivnih ocjena ispitanika u odnosu na stanje mreže pri strujanju videozapisa

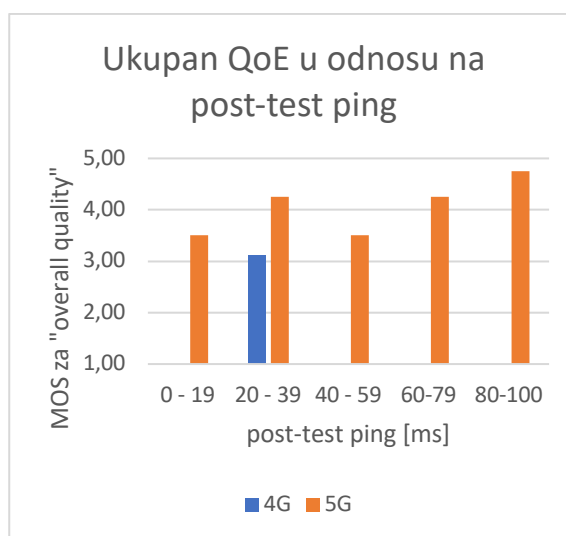
U ovom potpoglavlju bit će analizirane subjektivne ocjene ispitanika u odnosu na stanje mreže pri strujanju videozapisa. Ova analiza je bitna, jer stanje mreže za vrijeme ispitivanja može utjecati na ocjene.

4.2.1. Iskustvena kvaliteta

Graf ocjena ukupne iskustvene kvalitete po razinama kašnjenja izmjenjenog prije prvog testa nalazi se na slici 4.5, a graf ocjena ukupne iskustvene kvalitete po razinama kašnjenja izmjenjenog nakon zadnjeg testa nalazi se na slici 4.6.



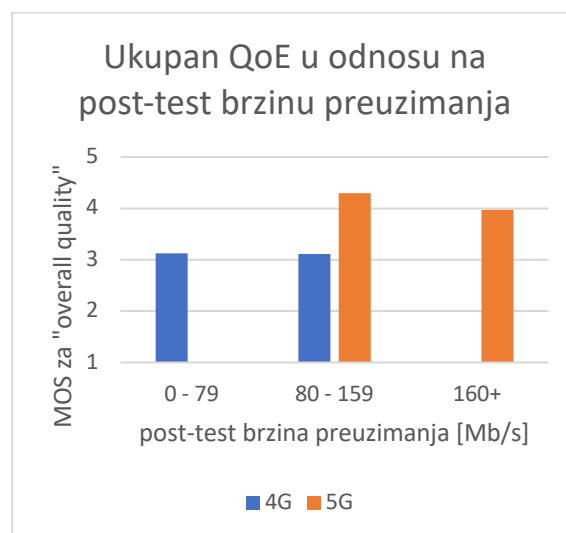
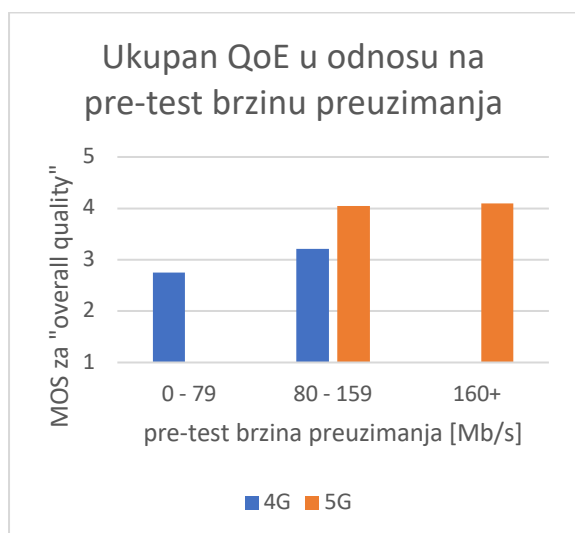
Slika 4.5 MOS za ukupni QoE u odnosu na pre-test ping



Slika 4.6 MOS za ukupni QoE u odnosu na post-test ping

Iz grafova se, kao i dosad, može zaključiti da je mreža najvažniji faktor za ukupni QoE. Na grafovima se također vidi utjecaj NAT-a loše kvalitete na ping u 5G slučajevima.

Na slici 4.7 nalazi se MOS za ukupni QoE u odnosu na brzinu preuzimanja snimljenu prije prvog testa, a na slici 4.8 u odnosu na brzinu preuzimanja snimljenu nakon zadnjeg testa.



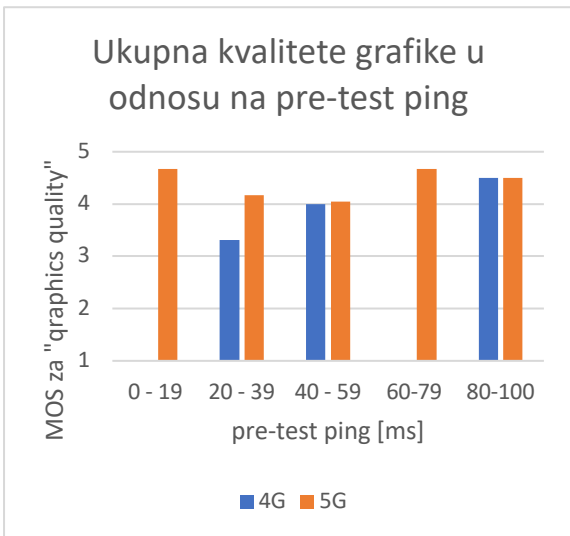
Slika 4.7 MOS za ukupni QoE u odnosu na pre-test brzinu preuzimanja

Slika 4.8 MOS za ukupni QoE u odnosu na post-test brzinu preuzimanja

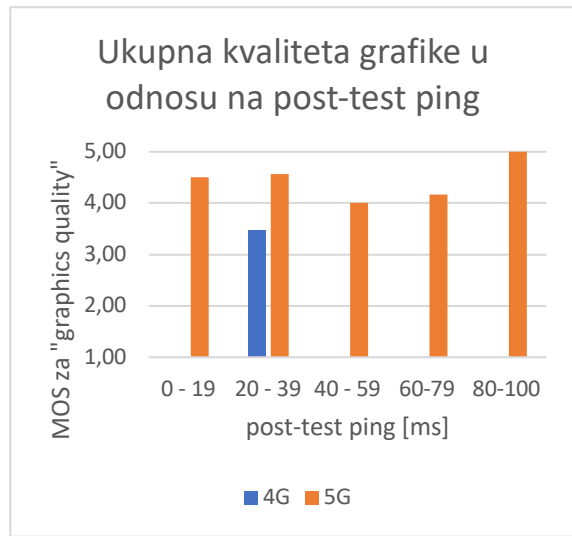
Na grafovima primjećujemo da 5G mreže imaju veće brzine preuzimanja, ali i u scenarijima gdje se nalaze u istoj grupi sa 4G-om, svejedno imaju veće ocjene za ukupnu kvalitetu.

4.2.2. Kvaliteta grafike

Na grafovima koji se nalaze na slikama 4.9 i 4.10 možemo vidjeti odnos ocjene za kvalitetu grafike i kašnjenja prije prvog testa te kašnjenja nakon zadnjeg testa.

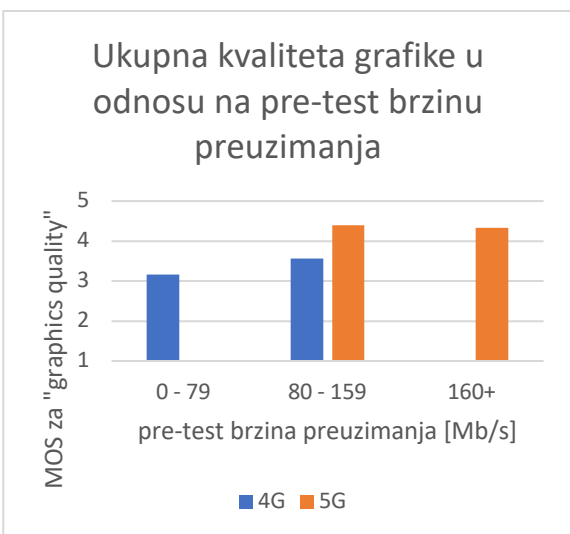


Slika 4.9 MOS za ukupnu kvalitetu grafike u odnosu na pre-test ping

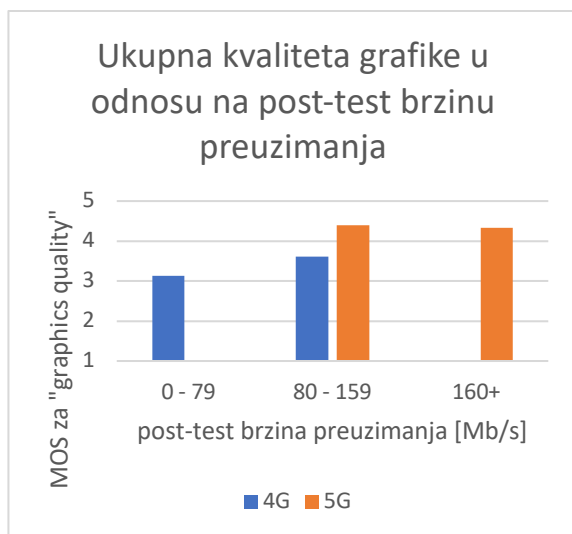


Slika 4.10 MOS za ukupnu kvalitetu grafike u odnosu na post-test ping

Iz grafova se da zaključiti da kašnjenje nije imalo prevelik utjecaj na kvalitetu grafike. Na slici 4.11 vidi se kvaliteta grafike u odnosu na brzinu preuzimanja prije prvog testa, a na slici 4.12 vidi se kvaliteta grafike u odnosu na brzinu preuzimanja poslije zadnjeg testa.



Slika 4.11 MOS za ukupnu kvalitetu grafike u odnosu na pre-test brzinu preuzimanja

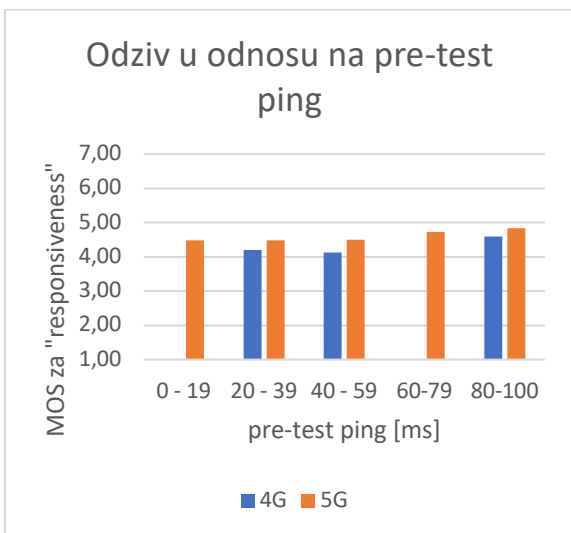


Slika 4.12 MOS za ukupnu kvalitetu grafike u odnosu na post-test brzinu preuzimanja

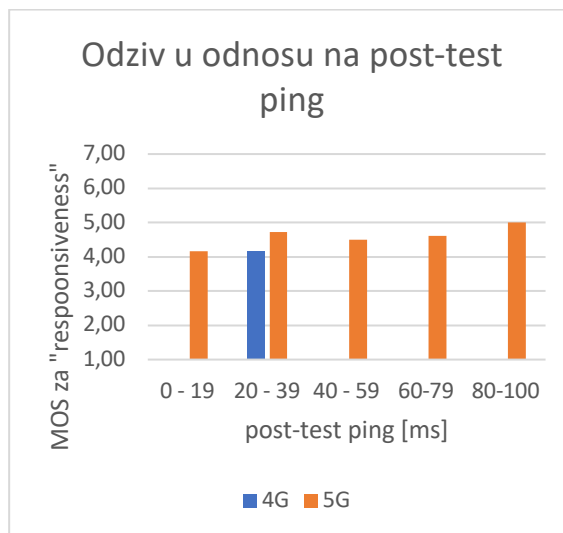
Na grafovima na slikama 4.11 i 4.12 vidi se razlika u ocjeni između slučajeva s velikim brzinama preuzimanja i malim brzinama preuzimanja, gdje slučajevi s većim brzinama preuzimanja imaju veću ocjenu, uglavnom jer u najnižoj kategoriji ima slučajeva gdje je brzina preuzimanja bila manja od potrebnih 20 Mb/s kako je bilo postavljeno na aplikaciji.

4.2.3. Odziv

Na slikama 4.13 i 4.14 nalaze se grafovi odziva u odnosu na kašnjenje u mreži prije prvog i nakon zadnjeg testiranja.

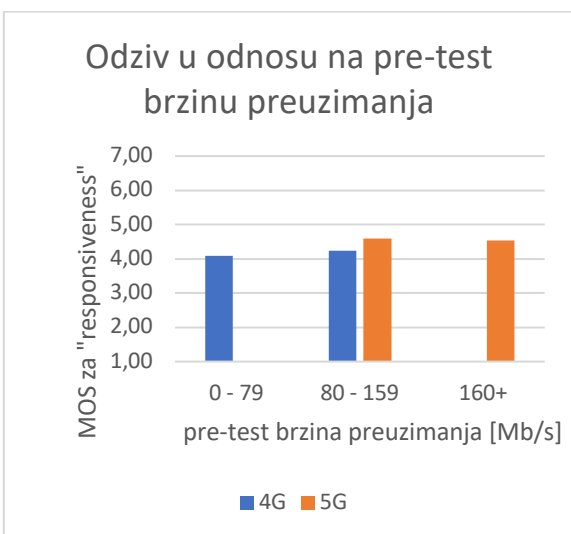


Slika 4.13 MOS za odziv u odnosu na pre-test ping

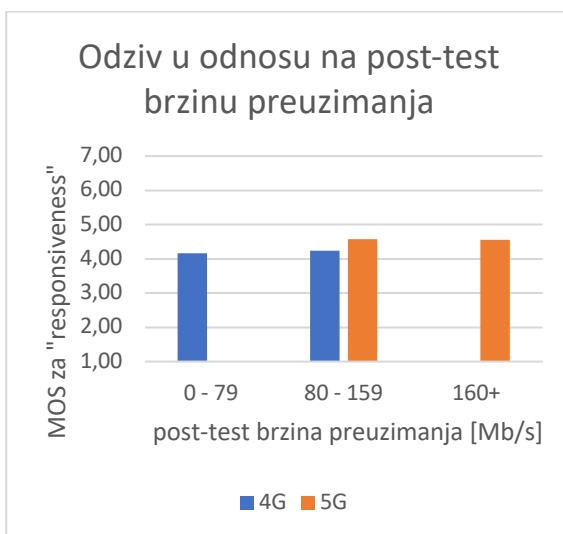


Slika 4.14 MOS za odziv u odnosu na post-test ping

Iz grafova je vidljivo da kašnjenje nema prevelik utjecaj na odziv. Grafovi ocjene za odziv u odnosu na brzinu preuzimanja prije prvog i poslije zadnjeg odigranog scenarija mogu se naći na slikama 4.15 i 4.16.



Slika 4.15 MOS za odziv u odnosu na pre-test brzinu preuzimanja



Slika 4.16 MOS za odziv u odnosu na post-test brzinu preuzimanja

Iz grafova na prethodne dvije slike vidljivo je da brzina preuzimanja nema utjecaj na odziv.

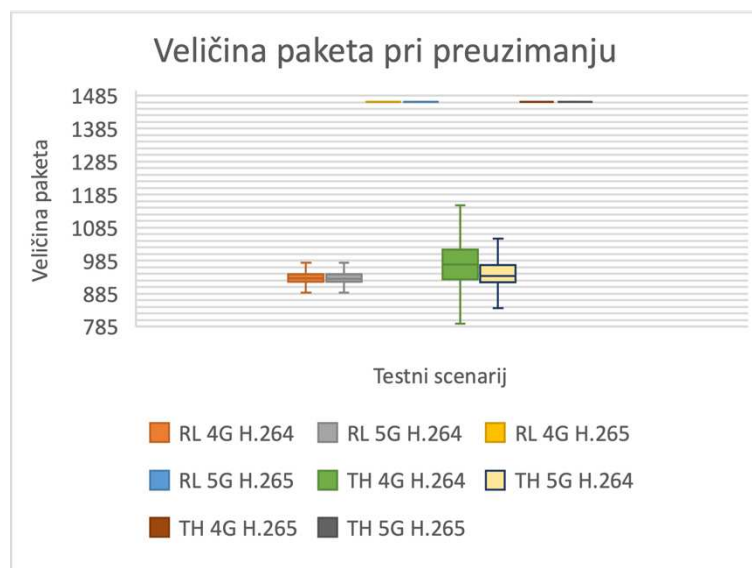
4.3. Analiza objektivnih mjerila stanja u mreži za vrijeme testiranja

U ovom potpoglavlju bit će analizirani parametri poput brzine preuzimanja i slanja, broja paketa, veličine paketa i međudolaznog vremena na jednom ispitaniku. Paketi koji će biti analizirani snimljeni su nakon što je riješen problem s NAT-om koji je usporio 5G mrežu i uveo dodatno kašnjenje.

U potpoglavlju se smjer podataka gleda iz perspektive pametnog telefona koji preuzima videozapis zaslona s PlayStation-a, a šalje mu kontrole.

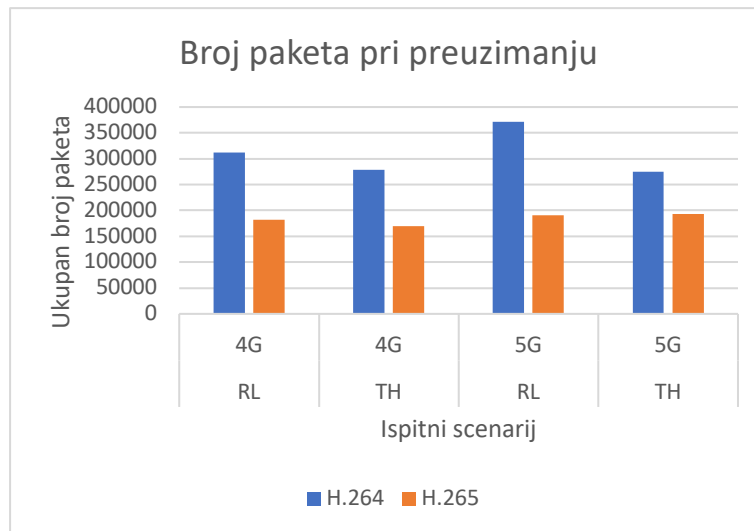
4.3.1. Preuzimanje videozapisa zaslona s konzole PlayStation 5

Iz grafa na slici 4.17 vidimo da, osim što postoji značajna varijacija u veličini paketa pri korištenju kodeka H.264, kodek H.265 gotovo uvijek šalje pakete veličine 1424B H.264, što je puno veće od veličine paketa kodeka H.264.



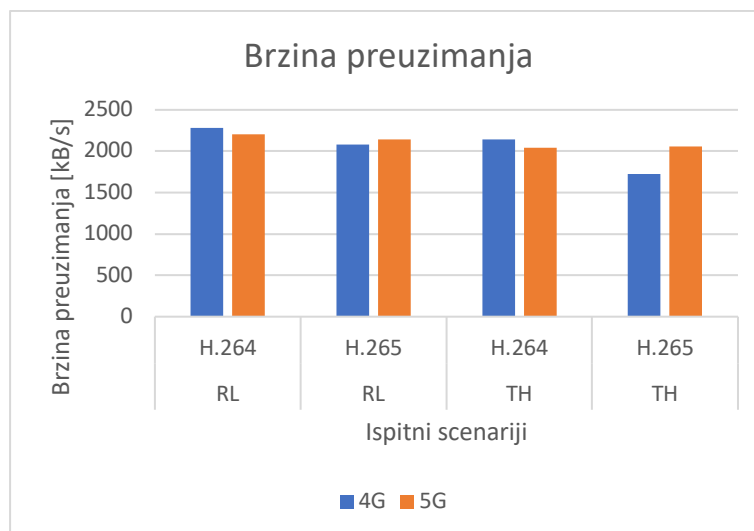
Slika 4.17 Veličina paketa pri preuzimanju videozapisa zaslona s konzole PlayStation 5

Na slici 4.18 je graf iz kojeg se može iščitati da kodek H.265 šalje znatno manji broj paketa, što i ima smisla ako znamo da je algoritamski kompleksniji od kodeka H.264, zbog čega može bolje komprimirati videozapis, no za to mu treba više vremena, stoga ih rjeđe šalje.



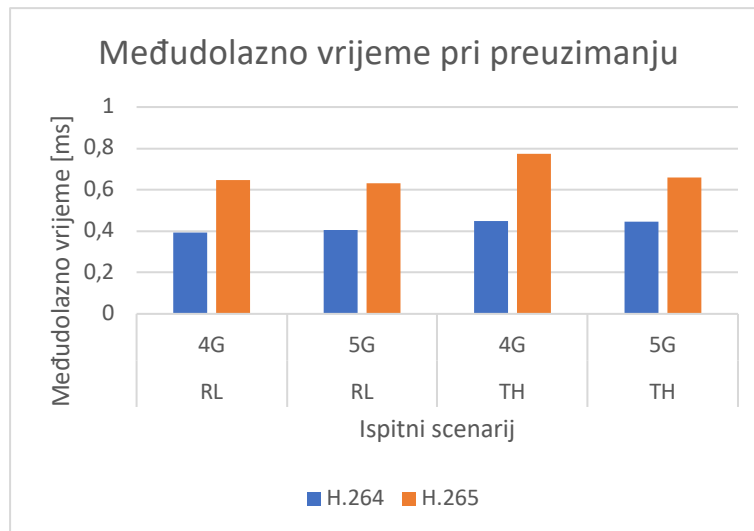
Slika 4.18 Broj paketa pri preuzimanju videozapisa zaslona s konzole PlayStation 5

Sa slike 4.19 vidljivo je da je brzina preuzimanja skoro uvijek jednaka 20 Mb/s na koju je postavljena propusnost za vrijeme strujanja.



Slika 4.19 Brzina preuzimanja videozapisa zaslona s konzole PlayStation 5

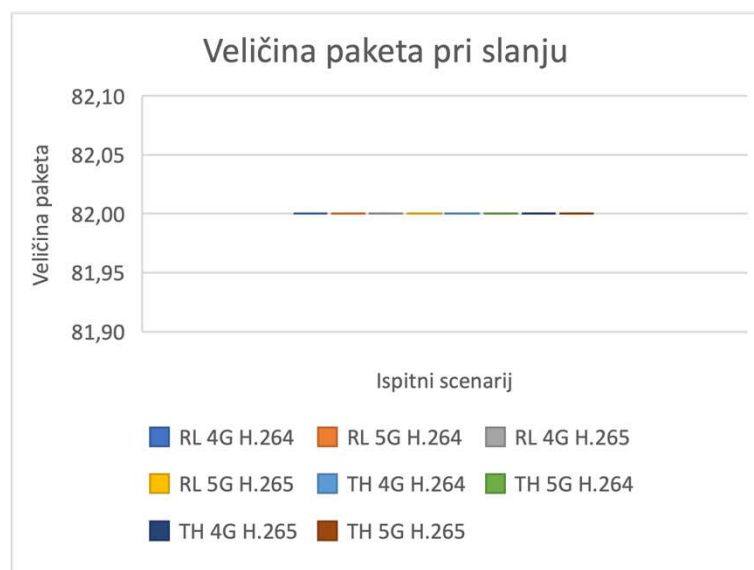
Na slici 4.20 ponovno vidimo da kodek H.264 ima znatno manje međudolazno vrijeme paketa od kodeka H.265, što se moglo zaključiti i iz slika 4.17 i 4.18.



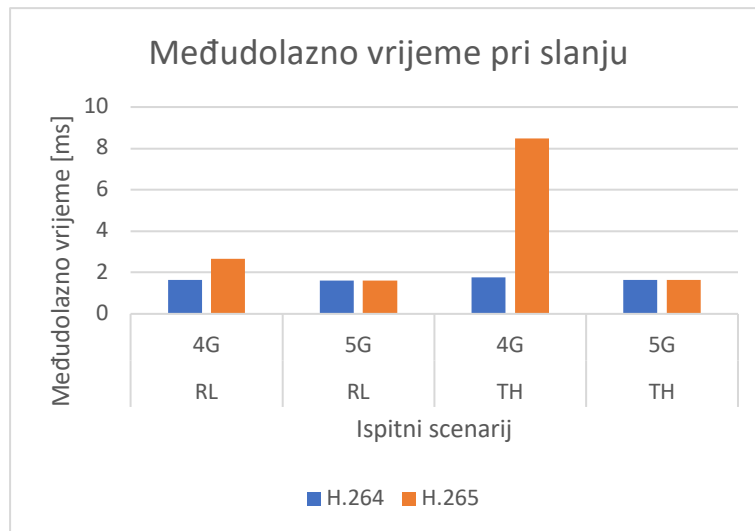
Slika 4.20 Međudolazno vrijeme paketa pri preuzimanju videozapisa zaslona s konzole PlayStation 5

4.3.2. Slanje igračevih kontrola konzoli PlayStation 5

Iz grafa na slici 4.21 vidljivo je da je veličina paketa pri slanju konzistentnih 82 B. To nije iznenađujuće obzirom da pametni telefon svako toliko (slika 4.22) pošalje kontrole na PlayStation 5, tako da nema velike varijacije u odnosu na prikazanu statičnost scene na zaslonu ili neki drugi faktor koji bi mogao utjecati na veličinu paketa iz kodeka.



Slika 4.21 Veličina paketa pri slanju igračevih kontrola konzoli PlayStation 5



Slika 4.22 Međudolazno vrijeme paketa pri slanju igračevih kontrola konzoli PlayStation 5

Zaključak

Igre zasnovane na računalnom oblaku način su igranja igara gdje se igraču struja videozapis zaslona sa udaljenog poslužitelja, a on sa svog uređaja poslužitelju šalje kontrole poslužitelju. Igranje igara zasnovanih na računalnom oblaku omogućava korisnicima sa slabijim uređajima da, najčešće uz pretplatu na neku od ponuđenih usluga, igraju igre koje inače ne bi mogli pokrenuti na vlastitim uređajima. Jedina zamjerka igrama zasnovanim na računalnom oblaku je potreba za stabilnom internetskom vezom, sa velikom brzinom preuzimanja i što manjim kašnjenjem.

5G novi je generacijski skok u mobilnim mrežama koji obećava promijeniti svijet. U odnosu na 4G nudi veće brzine, manja kašnjenja i više povezanih uređaja odjednom. To bi moglo ostaviti trajni trag na mnoga područja poput proizvodnje, poljoprivrede, medicine, i između ostalog, igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku. Problem 5G tehnologije, koji znatno usporava puštanje u rad, taj je da je infrastruktura znatno veća od one za 4G i 3G. Razlog tomu su više frekvencije radiovalova koje 5G koristi, a koje slabije prolaze kroz prepreke na putu, stoga broj pristupnih točaka mora biti znatno veći kako bi se postigla potpuna pokrivenost.

No, kada dođe do velike razine pokrivenosti, 5G će riješiti probleme koji muče igre zasnovane na računalnom oblaku, pogotovo u području mobilnog igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku, koji trenutno pati od niske brzine preuzimanja i visokog kašnjenja. U našem radu smo proveli istraživanje iskustvene kvalitete igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku koristeći 4G i 5G mreže te dokazali da su ocjene za iskustvenu kvalitetu, kvalitetu grafike i odziv bolje na 5G mreži nego na 4G mreži.

Literatura

- [1] Forbes, *E3 2000=Expectations Cubed*, Forbes, (2000, svibanj). Poveznica: <https://www.forbes.com/2000/05/10/feat.html?sh=ec5e8cf4304d>; pristupljeno 31. svibnja. 2021.
- [2] ITU-T Recommendation H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services, 06/2019
- [3] ITU-T Recommendation H.265: High efficiency video coding, 11/2019
- [4] Ivan Slivar, Lea Skorin-Kapov, Mirko Sužnjević, *Cloud Gaming QoE Models for Deriving Video Encoding Adaptation Strategies*, In Proceedings of the 7th International Conference on Multimedia Systems (MMSys '16), (2016), str. 1.
- [5] Asif Ali Laghari, Hui He, Rashid Ali Laghari, Imtiaz Ali Halepoto, *Quality of Experience (QoE) in cloud gaming models: A review*, Multiagent and Grid Systems, 10/2019
- [6] W. Cai et al., A Survey on Cloud Gaming: Future of Computer Games, in IEEE Access, vol. 4, pp. 7605-7620, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2590500.
- [7] Ericsson, *Mobile cloud gaming – an evolving business opportunity*, Ericsson, (2020, studeni). Poveznica: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/articles/mobile-cloud-gaming>; pristupljeno 31. svibnja. 2021.
- [8] Andrei Dobra, *Crytek Attempted Cloud Gaming Way Before OnLive*, Softpedia News, (2009, travanj). Poveznica: <https://news.softpedia.com/news/Crytek-Attempted-Cloud-Gaming-Way-Before-OnLive-110232.shtml>; pristupljeno 31. svibnja. 2021.
- [9] Sean Hollister, *How Sony bought, and squandered, the future of gaming*, The Verge, (2019, prosinac). Poveznica: <https://www.theverge.com/2019/12/5/20993828/sony-playstation-now-cloud-gaming-gaikai-onlive-google-stadia-25th-anniversary>; pristupljeno 31. svibnja. 2021.
- [10] Google Stadia, Poveznica: <https://stadia.google.com/>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [11] Shadow, Poveznica: <https://shadow.tech/>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [12] GeForce Now, Poveznica: <https://www.nvidia.com/en-eu/geforce-now/>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [13] Steam Link, Poveznica: https://store.steampowered.com/app/353380/Steam_Link/; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [14] Moonlight, Poveznica: <https://moonlight-stream.org/>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [15] Christian de Looper, *What is 5G? Everything you need to know*, Digital Trends, (2021, ožujak). Poveznica: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-5g/>; pristupljeno 14. svibnja. 2021.
- [16] ITU-R Report M.2410-0, Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s), 11/2017

- [17] Reinhardt Haverans, *From 1G to 5G: A Brief History of the Evolution of Mobile Standards*, BrainBridge, (2021, svibanj). Poveznica: <https://www.brainbridge.be/en/blog/1g-5g-brief-history-evolution-mobile-standards>; pristupljeno 1. lipnja. 2021.
- [18] Huurdeman, Anton. A. *The worldwide history of telecommunications*. 1. izdanje, stranica 529, 2003.
- [19] ITU-T Recommendation M.687-2, INTERNATIONAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS-2000 (IMT-2000), 2/1997
- [20] Hrvatski Telekom, *Najveća pokrivenost i uskoro još veće brzine*, Poveznica: <https://www.hrvatskitelekom.hr/5g>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [21] Patrick Le Callet, Sebastian Möller i Andrew Perkis, urednici,. *Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience*, Lausanne, Switzerland, Version 1.2, March 2013.
- [22] ITU-T G.1032, Influence factors on gaming quality of experience, 10/2017
- [23] M. Malhotra, A. V. Singh and R. Matam, "Comparative Performance Issues with H.264 vs H.265," 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), 2019, pp. 283-288, doi: 10.1109/COMITCon.2019.8862207.
- [24] Petra Škaberna, *HT i FER pokrenuli prvu 5G campus mrežu u Hrvatskoj*, Fakultet Elektrotehnike i Računarstva,(2020, prosinac), Poveznica: <https://www.fer.unizg.hr/novosti/?@=2t29s>; pristupljeno: 8. lipnja 2021.
- [25] Rocket League, Poveznica: <https://www.rocketleague.com/>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [26] Thumper, Poveznica: <https://thumpergame.com/>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [27] Andrew Webster, *PLAYSTATION 5 REVIEW: A BIG, CONFIDENT STEP INTO NEXT GEN*, The Verge, (2020, studeni). Poveznica: <https://www.theverge.com/21550146/sony-playstation-5-ps5-review>; pristupljeno 30. svibnja. 2021.
- [28] PS Remote Play, Poveznica: <https://remoteplay.dl.playstation.net/remoteplay/lang/en/index.html>; pristupljeno 8. lipnja. 2021.
- [29] thestr4ng3r, *Free and Open source Playstation Remote play Client*, Sourcehut, (2021, ožujak). Poveznica: <https://git.sr.ht/~thestr4ng3r/chiaki>; pristupljeno 30. svibnja. 2021.
- [30] GSM Arena, *Huawei Mate 20 X (5G)*, GSM Arena, (2019, svibanj). Poveznica: [https://www.gsmarena.com/huawei_mate_20_x_\(5g\)-9705.php](https://www.gsmarena.com/huawei_mate_20_x_(5g)-9705.php); pristupljeno 30. svibnja. 2021.
- [31] ITU-T Recommendation P.800, Methods for subjective determination of transmission quality, Annex E, 8/1996

Sažetak

Igre zasnovane na računalnom oblaku noviji su koncept koji je tek u novije vrijeme vidio širu primjenu. Mobilno igranje igara zasnovanih na računalnom oblaku dosad je mučilo kašnjenje i niska brzina preuzimanja, zbog 4G mreže, ali 5G to obećava riješiti. 5G je tehnologija koja se svakodnevno implementira na sve više lokacija, tehnički je superiornija od prijašnjih tehnologija i obećava veće brzine preuzimanja, manje kašnjenje i veći broj povezanih uređaja odjednom. 5G ima veliki potencijal poboljšati iskustvo mobilnog igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku jer obećava riješiti trenutno najveće probleme mobilnog igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku. U našem radu smo proveli istraživanje primjene 5G-a u igranju igara zasnovanih na računalnom oblaku, gdje smo dokazali da 5G daje bolje iskustvo igranja igara zasnovanih na računalnom oblaku nego 4G.

Ključne riječi: Igre zasnovane na računalnom oblaku, 4G, 5G, H.264, H.265, Rocket League, Thumper, iskustvena kvaliteta, QoE.

Summary

Cloud gaming is a newer concept that has only recently seen wider application. Mobile cloud gaming has so far been plagued by latency and low download speeds, due to the 4G network, but 5G promises to address that. 5G is a technology that is being implemented in more and more locations every day, is technically superior to previous technologies and promises higher download speeds, less latency and more connected devices at once. 5G has great potential to improve the experience of mobile cloud gaming, as it promises to solve its biggest current problems. In our paper, we conducted a study of the application of 5G using mobile cloud gaming, where we proved that 5G (even with NAT issues) gives a better experience of using mobile cloud gaming services than 4G.

Keywords: Cloud gaming, 4G, 5G, H.264, H.265, Rocket League, Thumper, quality of experience, QoE.