

# Utjecaj promjene kašnjenja i propusnosti na korisničko iskustvo igranja u oblaku

---

Ležaić, Leon

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:677537>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**DIPLOMSKI RAD**

**UTJECAJ PROMJENE KAŠNJENJA I PROPUSNOSTI NA  
KORISNIČKO ISKUSTVO IGRANJA U OBLAKU**

**IMPACT OF LATENCY AND BANDWIDTH CHANGES ON USER  
EXPERIENCE FOR CLOUD GAMING**

Mentor:  
doc. dr. sc. Marko Matulin

Student:  
Leon Ležaić  
JMBAG: 0135234992

**Zagreb, 2021**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT**

Zagreb, 30. kolovoza 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa II**

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 6498**

Pristupnik: **Leon Ležaić (0135234992)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Utjecaj promjene kašnjenja i propusnosti na korisničko iskustvo igranja u oblaku**

**Opis zadatka:**

Prikazati funkcionalnosti usluge igranja u oblaku (cloud gaming) te razvoj ove usluge usporedno s razvojem širokopoljnih mreža. Analizirati mjerljive indikatore performansi takve usluge (kašnjenje i propusnost) te utjecaj nezadovoljavajućih performansi na iskustvo korisnika. Uspostaviti mrežno okruženje u kojem će se provoditi ispitivanje kvalitete usluge u različitim mrežnim scenarijima. Tablično i grafički usporediti dobivene rezultate i komentirati.

Mentor:



---

doc. dr. sc. Marko Matulin

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



---

prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

# **UTJECAJ PROMJENE KAŠNJENJA I PROPUSNOSTI NA KORISNIČKO ISKUSTVO IGRANJA U OBLAKU**

## **SAŽETAK:**

Igranje u oblaku predstavlja način pružanja visoko kvalitetnih i zahtjevnih usluga klijentima koji ih sami inače ne bi mogli pokrenuti. Dok prednosti uključuju mogućnost strujanja visoko kvalitetnih grafičkih igara na praktički bilo koji uređaj krajnjeg korisnika, nedostaci uključuju visoke zahtjeve za propusnost i vrlo nisko kašnjenje. Zbog sve veće popularnosti igranja u oblaku, važno je razumjeti učinke različitih mrežnih uvjeta na korisnike. Ovaj rad opisuje dva istraživanja kako bi se utvrdili učinci kašnjenja na performanse igrača i iskustvenu kvalitetu usluge, kao i kako ograničavanje propusnosti utječe na usluge igranja u oblaku.

**KLJUČNE RIJEČI:** igranje u oblaku, propusnost, kašnjenje, iskustvena kvaliteta

# **IMPACT OF LATENCY AND BANDWIDTH CHANGES ON USER EXPERIENCE FOR CLOUD GAMING**

## **SUMMARY:**

Cloud gaming is way to deliver high-performance services to clients who would not usually be able to handle the services on their own. While benefits include the ability to stream high-quality graphics games to practically any end user device, drawbacks include high bandwidth requirements and very low latency. Due to the increasing popularity of cloud gaming, it is important to understand the effects of different network conditions on users. This paper describes two studies to determine the effects of latency on player performance and quality of experience, as well as how limiting bandwidth impacts cloud gaming services.

**KEYWORDS:** cloud gaming, bandwidth, latency, quality of experience

# SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. Arhitektura računalstva u oblaku .....	3
2.1. Povijest računalstva u oblaku .....	3
2.2. Arhitektura platforme .....	5
2.2.1. Modeli pružanja usluge .....	7
2.2.1.1 Infrastruktura kao usluga .....	7
2.2.1.2 Platforma kao usluga .....	8
2.2.1.3 Softver kao usluga .....	9
2.2.2. Modeli izvedbe .....	10
2.2.2.1 Javni oblak .....	11
2.2.2.2 Privatni oblak .....	12
2.2.2.3 Hibridni oblak .....	13
2.2.2.4 Zajednički oblak .....	14
3. Razvoj igranja u oblaku .....	15
3.1. Početak igranja u oblaku .....	16
3.2. Izazovi i pitanja .....	18
3.2.1. Tolerancija na kašnjenje pri interakciji .....	19
3.2.2. Kodiranje i videostrujanje .....	20
3.3. Procjene iskustvene kvalitete tijekom igranja u oblaku .....	21
3.4. Trenutno dostupne usluge igranja o oblaku .....	22
3.4.1. <i>Steam Link</i> .....	23
3.4.2. <i>GeForce Now</i> .....	24
4. Analiza dodavanja kašnjenja u mrežu .....	25
4.1. Odabir videoigre .....	25
4.2. Hardver .....	26

4.3. Softver .....	27
4.4. Proces testiranja.....	27
5. Ograničavanje mrežne propusnosti .....	30
5.1. Odabir videoigre .....	30
5.2. Hardver.....	30
5.3. Softver .....	31
5.4. Proces testiranja.....	31
6. Usporedba rezultata .....	36
6.1. Iskustvo korisnika u različitim scenarijima .....	36
6.2. Definiranje minimalne mrežne propusnosti pri igranju u oblaku .....	42
7. Zaključak .....	49
Literatura .....	51
Popis kratica .....	54
Popis slika .....	55
Popis tablica .....	56
Popis grafikona.....	57

# 1. Uvod

Moderne videoigre postaju sve grafički ekstremnije, pa zahtijevaju od korisnika najnoviji hardver kako bi pravilno iskusili videoigru. U međuvremenu, komponente / uređaji postaju sve manji i tanji, dok potražnja za performansama raste. Budući da se uređaji „bore“ kako bi pružili potrebne performanse i ostali financijski isplativi, potencijalno rješenje problema je prelazak na igranje u oblaku, odnosno eng. *cloud gaming*

*Cloud gaming* predstavlja relativno novi način igranja videoigara koji postaje sve popularniji zbog širenja brzih mreža i računalstva u oblaku. Ovakav način igranja privukao je veliku pozornost potencijalnih korisnika upravo zbog tog razloga. Ključni izazov s kojim se suočavaju pružatelji *cloud* usluga nalazi se u maksimiziranju iskustvene kvalitete igrača (eng. *Quality of Experience* - QoE) i zadovoljavanju raznih ograničenja vezanih za propusnost.

Ograničene brzine pristupa Internet mreži sprečavaju da ovakav oblik igranja videoigara zaista zaživi, posebice u slabije razvijenim zemljama gdje infrastruktura pristupnih mreža ne može zadovoljiti zahtjeve ovakvih aplikacija. Svrha ovog rada proizašla je upravo iz te činjenice koja je na pameti svakog potencijalnog korisnika.

Kako igranje videoigara u oblaku postaje sve pristupačnije i na kraju financijski isplativije za krajnjeg korisnika, uvijek se postavlja pitanje može li pristupna mreža pojedinog korisnika podnijeti takvo opterećenje, istovremeno osiguravajući zadovoljavajuću razinu kvalitete usluge.

U praktičnom dijelu rada provedeno je istraživanje pomoću analize kašnjenja i propusnosti tijekom izvođenja videoigara. Cilj ovog istraživanja je ispitati koliko određeni čimbenici utječu na iskustvo igranja u oblaku. Također, potrebno je utvrditi minimalnu pristupnu brzinu koja bi bila zadovoljavajuća za prosječnog korisnika.

Tema ovog diplomskog rada je **Utjecaj promjene kašnjenja i propusnosti na korisničko iskustvo igranja u oblaku**. Rad je izložen u sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Arhitektura računalstva u oblaku
3. Razvoj igranja u oblaku
4. Analiza dodavanja latencije u mrežu
5. Ograničavanje mrežne propusnosti
6. Usporedba rezultata
7. Zaključak.

Rad počinje prikazom razvoja računalstva u oblaku (eng. *Cloud Computing*). Kroz povijest računalstvo u oblaku doživjelo je veliki uspjeh, kako u poslovne, tako i u privatne svrhe. Korisnici koriste računalstvo u oblaku kao platformu preko koje obavljaju razne poslove te na taj način smanjuju troškove za softver i hardver, takav način rada omogućuje veliku fleksibilnost korisnika i poslovanja. U radu je prikazana cijela arhitektura platforme te njene ključne karakteristike.

Treće poglavlje opisuje razvoj igranja u oblaku. Napredak računalstva u oblaku proširuje se konstantno kako bi se omogućilo što kvalitetnije izvršavanje složenih zadataka poput intenzivnog grafičkog 3D (eng. *Three – Dimensional*) prikaza u oblaku. Ta činjenica je igranje u oblaku pretvorila u stvarnost, stoga važno je prikazati kako je došlo do te ideje i na koji način ovakva platforma uopće funkcionira.

U sljedeća dva poglavlja provedeno je istraživanje na dvije od mnogo dostupnih usluga igranja u oblaku. Koristeći mrežni alat umjetno je uvedeno kašnjenje u mrežu kako bi se vidjelo koliko ono utječe na performanse i iskustvo korisnika. Propusnost je usko vezana s brzinom pristupa u smislu da je potrebno imati određenu minimalnu brzinu kako bi se usluga mogla pokrenuti i pravilno koristiti. Stoga, u petom poglavlju provedena je analiza koja smanjuje maksimalnu propusnost mreže kako bi se usporedili rezultati s preporučenom minimalnom konfiguracijom mreže.

Šesto poglavlje obrađuje već spomenute analize i prikazuje njihove rezultate. Temeljem ovakvih analiza moguće je ocijeniti performanse i limitiranosti ovakvog načina igranja video igara.

Sedmo poglavlje koje je ujedno i posljednje sastavljeno je od kratkog opisa cijelog rada, te nakon toga završeno zaključkom.



## 2. Arhitektura računalstva u oblaku

Kroz povijest može se reći da je svijet jedna kontinuirana evolucija. Isto tako događa se i s tehnologijom, organizacije moraju usmjeriti svoju aktivnost na nove oblike tehnologije kako ne bi zaostale u razvoju, zato je digitalna transformacija postala sredstvo preživljavanja. U ovakvoj evoluciji računalstvo u oblaku ima ključnu ulogu, ono postaje katalizator ove transformacije.

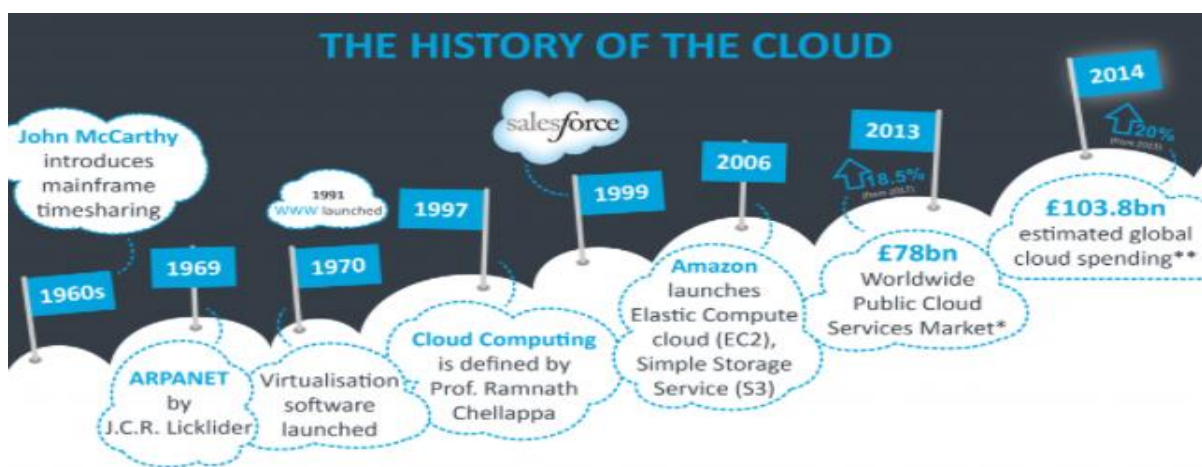
Danas svaka organizacija mjeri svoje performanse putem korisničkog iskustva, poslovnog modela itd. Stoga, ključno je da postoji isporuka u oblaku kako bi organizacija uspješno i relativno lagano usvajala nove kanale, kako bi ponudila korisničko iskustvo na visokoj razini.

Oblak je u osnovi zbirka hardvera i softvera koji pružaju IT (eng. *Information Technology*) usluge. Najveća prednost ovih usluga je fleksibilnost, jer se na taj način mogu pružati i ukidati usluge na temelju njene potražnje. Oblaci dolaze u različitim oblicima, postoje javni oblaci, privatni oblaci i hibridni oblaci koji su kombinacija prva dva. Postoje različite definicije računalstva u oblaku, no mnogi analitičari se i danas ne mogu složiti oko same definicije što računalstvo u oblaku zapravo jest. Jedan način definiranja računalstva u oblaku ovisi o načinu korištenja same usluge. Obični će korisnici definirati kao novi i jeftiniji način korištenja programskih rješenja, dok će stručnjaci definirati kao poslovni model ili platformu za korištenje informatičke podrške.

### 2.1. Povijest računalstva u oblaku

Računalstvo u oblaku kao pojam prisutan je od početka 2000-ih godina, ali njegov koncept postoji mnogo duže, spominje se čak u 1960-im godinama. U to vrijeme organizacije su mogle iznajmiti vrijeme na glavnom računalu, kako ga ne bi morale kupiti. Takve usluge su s vremenom ukinute zbog rasta popularnosti računala koja je učinila posjedovanje računala mnogo pristupačnije, a zatim i usponom korporativnih podatkovnih centara u koje bi organizacije mogle pohraniti ogromne količine podataka.

No, kao što je vidljivo na slici 1, koncept iznajmljivanja pristupa računalnoj tehnologiji iznova se pojavljivao kroz godine u različitim načinima, npr. kod davatelja aplikacijskih usluga, sve do početka 2000-ih godina. Ubrzanim razvojem Interneta stvorio se veliki pritisak na postojeće skladišne i računalne kapacitete. Nakon toga uslijedilo je računalstvo u oblaku, koje je doživjelo veliku popularnost pojavom softvera kao usluge. Jedno od ranijih primjera je *Amazon Web Services*. Davatelji internetskih usluga počinju koristiti jeftina računala kao temeljnu hardversku platformu. Izumljene su različite vrste softverskih tehnologija kako bi ova računala radila elastično i fleksibilno, [1].



**Slika 1.** Povijest računalstva u oblaku, [2]

*Amazon* je 2006. godine proširio svoje usluge u oblaku. *Elastic Compute (EC2)* je ljudima omogućio pristup računalima i pokretanje vlastitih aplikacija na njima, sve u oblaku. Zatim su predstavili *Simple Storage Service (S3)*, čime su prikazali model *pay – as – you – go* korisnicima i industriji u cjelini, koji je s vremenom postao standardna praksa, [2].

Nakon uspješnog razvitka svojih osnovnih značajki, sigurnost je postala primarni fokus računalstva u oblaku. Sigurnost u oblaku postala je brzo rastuća usluga zbog svoje važnosti za korisnike. Zaštita u oblaku značajno je napredovala kroz vrijeme i sada pruža zaštitu usporedivu s tradicionalnim IT sigurnosnim sustavima. To uključuje zaštitu kritičnih informacija od slučajnog brisanja, krađe i curenja podataka. Imajući to na umu, sigurnost je još uvijek primarna briga većine korisnika računalstva u oblaku, [2].

## 2.2. Arhitektura platforme

Za pohranu podataka u oblaku sve vrste organizacija koriste računalni sustav u oblaku kako bi mogle pristupiti svom sustavu kad god to žele. U osnovi arhitektura računalstva u oblaku klasificirana je na dva načina. Jedan je *Front End*, a drugi *Back End*. Oba kraja spojena su putem Internet mreže. *Back End* je odgovoran za osiguranje sigurnosti podataka za korisnike, davatelji usluga koriste taj dio sustava. On upravlja svim resursima koji su potrebni za pružanje usluge. Sastoji se od sigurnosnog mehanizma, velike količine podataka, poslužitelja, virtualnih strojeva, mehanizama za kontrolu prometa, primjene modela itd. [4].

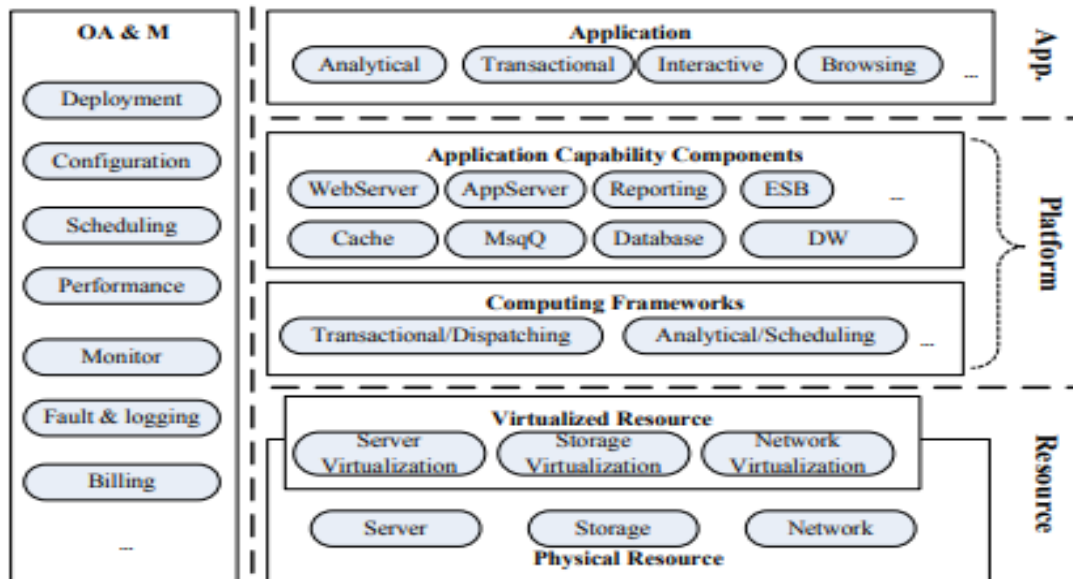
S druge strane, korisnici koriste *Front End*. Sučelje i aplikacije na strani klijenta potrebni su za pristup preko računalstva u oblaku u *Front End*-u. Sadrži tablete, web poslužitelje i mobilne uređaje. Budući da oblak sadrži različite vrste podataka različitih korisnika, pristupni sustavi za oblak razlikuju se pomoću konvencionalne pohrane, [4].

Prema [4] neki elementi arhitekture računalstva u oblaku su sljedeći:

- infrastruktura klijenta: grafičko sučelje, koristi se za pristup oblaku,
- aplikacija: platforma ili softver kojoj korisnik traži pristup,
- usluga: ponuđena usluga,
- Internet: medij koji omogućuje međusobnu komunikaciju,
- pohrana: mjesto za pohranu i upravljanje podataka,
- infrastruktura: usluga na aplikacijskom, mrežnom nivou,
- upravljanje: upravljanje svim elementima,
- sigurnost: izvođenje sigurnosnog sustava.

Mnoge stručne organizacije i istraživači definirali su arhitekturu računalstva u oblaku na slične načine. U osnovi cijeli se sustav može podijeliti na jezgru i upravljanje. Slika 2 prikazuje arhitekturu računalstva u oblaku koja se prema [3] sastoji od tri sloja:

- resurs,
- platforma,
- aplikacija.



**Slika 2.** Arhitektura računalstva u oblaku, [3]

Sloj resursa je infrastrukturni sloj koji se sastoji od fizičkih virtualiziranih računalnih, memorijskih i mrežnih resursa. To uključuje skladišne prostore, virtualizirane poslužitelje i umrežavanje. Uključuje hardver, mrežu i poslužitelje isporučene krajnjim korisnicima. Sloj platforme je najsloženiji dio koji se može podijeliti na mnogo pod slojeva. Ovaj sloj uključuje usluge poput operacijskog sustava i aplikacija. Služi kao platforma za razvoj i implementaciju aplikacija te je od vitalnog značaja za neometan rad u oblaku.

Aplikacijski sloj i komponente unutar njega podržavaju istu opću logiku normalne aplikacije, fleksibilno upravljanje ili sposobnost upravljanja na zahtjev, kako ne bi došlo do „gušenja“ (eng. *bottleneck*) cijelog sustava zbog samih komponenata u njemu. Aplikacijski sloj je onaj s kojim krajnji korisnici izravno stupaju u interakciju. Uglavnom, sastoji se od softverskih sustava ispučenih kao usluga, primjeri su *Gmail* i *Dropbox*. On osigurava isporuku softvera u obliku kojem korisnici mogu pristupiti putem Internet mreže. Korisnici jednostavno mogu prilagoditi svoj softverski sustav pomoću meta podataka. Ovi slojevi omogućuju korisnicima optimalno korištenje usluga računalstva u oblaku i postizanje rezultata koje traže od sustava, [3].

### 2.2.1. Modeli pružanja usluge

Prema [5] postoje tri osnovna modela pružanja usluge računalstva u oblaku:

- infrastruktura kao usluga (eng. *Infrastructure as a Service*, IaaS),
- platforma kao usluga (eng. *Platform as a Service*, PaaS),
- softver kao usluga (eng. *Software as a Service*, SaaS).

#### 2.2.1.1 Infrastruktura kao usluga

IaaS je model računalstva u oblaku koji je potpuno automatiziran za pristup i nadzor računala, umrežavanje, pohranu i druge usluge. IaaS omogućuje tvrtkama da kupuju resurse na zahtjev i po potrebi, umjesto da moraju kupovati hardver izravno i unaprijed. IaaS isporučuje poslužitelja, pohranu, mrežu i operacijski sustav, kao uslugu. Pruža „stroj“ s operativnim sustavom koji je već instaliran i konfiguriran. Omogućuje pohranu podataka na različitim zemljopisnim lokacijama.

Davatelji usluga kontroliraju aktivnosti u podatkovnim centrima u oblaku, a korisnicima omogućuju fleksibilnost pri samoj implementaciji i upravljanju softverskim uslugama. Korisnik ima pristup virtualnom računalu, pohrani, mrežnoj infrastrukturi, računalnim resursima za implementaciju i rad softvera, [5].

Prema [6] postoje mnoge prednosti koje dolaze s korištenjem IaaS modela, a neke od njih su sljedeće:

- povećanje ili smanjenje infrastrukture na zahtjev od strane korisnika,
- virtualizacija kao usluga,
- smanjenje ljudskih i hardverskih troškova,
- fleksibilnost,
- automatiziranost.

Mnoga ograničenja povezana sa SaaS i PaaS modelima poput sigurnosti podataka, prekoračenja troškova, problema s davateljem usluge i prilagođavanja, također se primjenjuju na IaaS model, [6].

### 2.2.1.2 Platforma kao usluga

PaaS inkapsulira sloj softvera i pruža ga kao uslugu koja se može koristiti za izgradnju usluga viših razina. PaaS model pruža komponente računalstva u oblaku određenom softveru, a koristi se uglavnom za aplikacije. Isporučuje okvir za programere koji se može nadograđivati i koristiti za izradu prilagođenih aplikacija. Svim poslužiteljima, pohranom i umrežavanjem može upravljati sama organizacija ili davatelj usluge ukoliko je to potrebno, dok programeri upravljaju aplikacijama, [7].

Proces isporuke sličan je SaaS modelu, osim što umjesto isporuke softvera putem Interneta, model pruža platformu za izradu softvera. Ta se platforma isporučuje putem mreže, što rezultira slobodom u izradi softvera bez brige o operativnom sustavu, ažuriranju, pohrani ili infrastrukturi. PaaS omogućuje organizacijama da dizajniraju i stvaraju aplikacije koje su skalabilne i vrlo dostupne jer poprimaju određene karakteristike zbog načina rada u oblaku, [6].

Prema [6] korištenje PaaS modela nudi mnoštvo prednosti:

- jednostavna, efikasna izrada softvera,
- skalabilnost,
- dostupnost,
- jednostavna konfiguracija aplikacija,
- automatizacija,
- jednostavna migracija u hibridni oblak.

Najveća zabrinutost prilikom korištenja PaaS modela javlja se u sigurnosti podataka. Organizacije mogu koristiti vlastite aplikacije i usluge, ali pohrana podataka događa se kod treće strane, odnosno na poslužiteljima koje kontrolira treća strana. Programeri moraju biti svjesni kako moraju nadograditi svoje aplikacije kod svake promjene podataka. Isto tako moraju biti upoznati s pravnim pitanjima o pohrani podataka na različitim lokacijama.

Programeri koji koriste PaaS ne mogu pristupiti „jezgri“ oblaka. Stoga je odgovornost pružatelja usluge u oblaku osigurati aplikacijske usluge i temeljnu infrastrukturu. Također, programeri ne znaju što će se dogoditi ako se poslužitelj ugasi. To su sve problemi koje sama organizacija ne može riješiti ukoliko dođe do njih, [6].

### 2.2.1.3 Softver kao usluga

SaaS predstavlja model koji klijentima omogućuje korištenje i iznajmljivanje aplikacije od davatelja usluga, a da je pritom ne moraju sami instalirati na osobno računalo. To znači da licencirane aplikacije rade na infrastrukturi oblaka putem sučelja kao što su *Google Chrome*, *Internet Explorer* i drugi. SaaS je usluga u kojoj se stvarni razvoj softvera i aplikacija odvija na platformama koje pruža sami sloj PaaS. SaaS se uglavnom bavi krajnjim korisnicima jer oni prikupljaju i koriste aplikacije koje su izradili davatelji usluge u oblaku, [7].

Upravljanje i kontrola infrastrukture je u nadležnosti davatelja usluga, dok u nekim slučajevima pojedini broj kupaca može imati svoje vlastite konfiguracije. U tom slučaju koristi se skup unaprijed definiranih opcija konfiguracije za prilagodbu aplikacija. Ovaj model predstavlja idealan način za pristup aplikacijama male kompleksnosti kao što su *Microsoft Word*, jer jače aplikacije uzrokuju sporo vrijeme obrade podataka što usporava cijelu mrežu. Cijena SaaS aplikacija varira od aplikacije do aplikacije, davatelji usluga naplaćuju aplikaciju neovisno o upotrebi, dok drugi naplaćuju prema količini upotrebe, [6].

Prema [6] neke od prednosti korištenja ovog modela su:

- davatelj usluge odgovoran je za njenu kontrolu i ograničenje upotrebe,
- infrastruktura je nepotrebna, koristi se infrastruktura u oblaku,
- SaaS aplikacije moguće je konfigurirati, ali ne i u potpunosti prilagoditi,
- koristi se kriptiranje podataka preko SSL-a (eng. *Secure Sockets Layer*),
- manji troškovi licenciranog aplikacijskog softvera,
- jednu aplikaciju može pokretati više korisnika.

Za sigurnost pri korištenju ovog modela klijent je ovisan o davatelju usluge. Sigurnosni problemi u SaaS modelu vrlo su slični problemima koji se javljaju kod mrežnih aplikacija. Kada se govori o sigurnosti najvažnija točka je sigurnost podataka. Kako bi klijent preuzeo ili pohranio podatak u oblak, on to mora učiniti preko Internet

mreže. S time na umu, potrebno je pravilno kriptirati podatke kako ne bi došlo do pristupa bez pravilne autorizacijske provjere.

Kada davatelj usluge dobiva podatke klijenta, podaci se pohranjuju u različitim kopijama u različitim podatkovnim centrima koji mogu biti locirani u različitim zemljama, stoga je klijent u nemogućnosti poznavati legalizaciju koja će biti primijenjena na njegove podatke. Ovaj problem je još uvijek nedovoljno istražen u računalstvu u oblaku.

Zadnji pojam koji je važno napomenuti kod sigurnosti podataka je integritet. Podaci moraju biti nepromijenjeni tokom cijelog životnog vijeka. Samo autorizirani korisnik smije imati prava na promjenu podataka. Najveće prijetnje integritetu podataka su manipulacije i gubitak podataka. Kako bi se to spriječilo nužne su stalne redundancije i automatske pričuve kako bi se podaci mogli vratiti u originalno stanje, [6].

### **2.2.2. Modeli izvedbe**

Arhitekture računalstva u oblaku moraju uzeti u obzir različite stvari pri prelasku sa standardnog modela implementacije poslovne aplikacije na model temeljen na računalstvu u oblaku. Osim modela pružanja usluge važno je naglasiti podjelu modela prema izvedbi, koja je prema [4] sljedeća:

- javni oblak (eng. *Public Clouds*),
- privatni oblak (eng. *Private Clouds*),
- hibridni oblak (eng. *Hybrid Clouds*),
- zajednički oblak (eng. *Community Clouds*).

Organizacije mogu izabrati implementaciju aplikacija na javnom, privatnom ili hibridnom oblaku, od kojih svaki ima svoje prednosti i mane. Koristi i nedostatci svakog oblaka detaljnije su prikazani na slici 3. Iako se javni oblaci nalaze na Internetu, privatni oblaci obično se nalaze u prostorijama ili su smješteni u privatne objekte. Organizacije moraju donijeti odluku koji model im najviše odgovara, dok je moguće koristiti i više od jednog modela za rješavanje različitih problema, [8].



Ako je npr. privremeno potrebna određena aplikacija, javni oblak može biti najprikladnije rješenje za postavljanje pohrane jer pomaže u izbjegavanju dodatnih troškova za kupovinu dodatne opreme. Isto tako, stalna aplikacija ili ona koja ima posebne zahtjeve sa strane kvalitete usluge ili lokacije, imala bi više koristi ako se postavi u privatni ili hibridni oblak.

Public Cloud	Private Cloud	Hybrid Cloud
No maintenance costs	Dedicated, secure	Policy-driven deployment
High scalability, flexibility	Regulation compliant	High scalability, flexibility
Reduced complexity	Customizable	Minimal security risks
Flexible pricing	High scalability	Workload diversity supports high reliability
Agile for innovation	Efficient	Improved security
Potential for high TCO	Expensive with high TCO	Potential for high TCO
Decreased security and availability	Minimal mobile access	Compatibility and integration
Minimal control	Limiting infrastructure	Added complexity
Benefits		Drawbacks

**Slika 3.** Prednosti i mane različitih modela izvedbe, [8]

### 2.2.2.1 Javni oblak

Upravljanje javnim oblacima obavlja treća strana, dok će se aplikacije različitih korisnika vjerojatno pomiješati u poslužiteljskim sustavima za pohranu i mrežu. Poslužitelji javnih oblaka se najčešće nalaze izvan prostorija korisnika i pružaju način za smanjenje rizika i troškova korisnicima, pružajući fleksibilnost, kao i potencijalno privremeno proširenje poslovne infrastrukture (slika 3).

Imajući na umu performanse, sigurnost i lokaciju podataka, postojanje drugih aplikacija koje se izvode u oblaku mora biti transparentno za korisnike. Jedna od

prednosti javnih oblaka je ta što mogu biti puno veći od privatnih oblaka organizacija, nudeći mogućnost povećavanja i smanjivanja, te prebacivanje infrastrukturnih rizika s organizacije na pružatelja usluge u oblaku, privremeno ili stalno.

Dijelovi javnog oblaka mogu se koristiti isključivo za upotrebu jednog klijenta, stvarajući virtualni privatni centar. Virtualni privatni centar korisnicima daje veću vidljivost u njihovu infrastrukturu. Kod takvog slučaja korisnici mogu manipulirati poslužiteljima, sustavima za pohranu, mrežnim uređajima i mrežnom topologijom. Stvaranje takvog virtualnog centra pomaže u smanjenju problema lokalizacije podataka jer je propusnost obilnija, pošto se resursi povezuju unutar istog objekta, [9].

Prema [8] korištenje javnog oblaka donosi nekoliko ključnih nedostataka:

- nedostatak sigurnosti: javni oblak je najmanje siguran što ga čini lošijim odabirom pri korištenju osjetljivih podataka,
- minimalna tehnička kontrola: lošija vidljivost i kontrola u infrastrukturu,
- nedostatak kontrole troškova: troškovi vlasništva mogu se uvelike povećati, pogotovo za organizacije osrednjih veličina.

#### **2.2.2.2 Privatni oblak**

Privatni oblaci izgrađeni su za isključivu upotrebu jednog klijenta, pružajući najveću kontrolu nad podacima, sigurnošću i kvalitetom usluge. Organizacija posjeduje infrastrukturu i ima kontrolu nad načinom postavljanja aplikacija na njoj. Privatni oblaci mogu biti raspoređeni u podatkovnom centru organizacije, a mogu se postaviti i u kolokacijskom objektu, [5].

Privatne oblake može u potpunosti izgraditi i upravljati IT odjel u organizaciji ili sami davatelj usluge u oblaku. U ovom modelu jedna organizacija može instalirati, konfigurirati i upravljati infrastrukturom za podršku unutar podatkovnog centra organizacije. Ovaj model daje organizacijama visoku razinu kontrole nad korištenjem resursa u oblaku, a istovremeno unosi potrebnu stručnost za uspostavu i upravljanje okolinom, [5].

Prema [8] privatni oblaci donose sljedeće nedostatke:

- cijena: privatni oblaci su skupo rješenje u usporedbi s javnim oblacima, pogotovo ako je riječ o privremenom rješenju,
- dostupnost: korisnici na mobilnom uređaju mogu imati limitirani pristup oblaku zbog snažnih sigurnosnih mjera,
- skalabilnost: nedostatak skalabilnosti kako bi se zadovoljili nepredvidivi zahtjevi u slučaju ograničenih resursa.

### **2.2.2.3 Hibridni oblak**

Hibridni oblaci kombiniraju javne i privatne modele i spajaju ih u jedan model oblaka. Mogućnost povećanja privatnog oblaka s resursima javnog oblaka može se iskoristiti za održavanje dostojne kvalitete usluge u uvjetima gdje se radno opterećenje brzo mijenja. To se najčešće vidi korištenjem hibridnog oblaka za pohranu podataka *Web 2.0* aplikacija. Također, može se koristiti za rješavanje planiranih skokova u radnom opterećenju, [7].

Hibridni oblaci donose složenost određivanja načina distribucije aplikacija u javnom i privatnom oblaku. Među pitanjima koje treba razmotriti je odnos između podataka i resursa za obradu. Kada je količina podataka malena ili je aplikacija bez statusa, hibridni oblak može biti mnogo uspješniji, nego kada je potrebno prenijeti velike količine podataka. Razlog tome je malena količina obrade podataka. Uobičajeni primjer korištenja hibridnog oblaka je kad organizacija koristi privatne oblake za svoja IT radna opterećenja i nadopunjuje infrastrukturu javnim oblakom kako bi prilagodila povremene skokove u mrežnom prometu, [7].

Prema [8] neki od nedostataka korištenja hibridnog oblaka su sljedeći:

- Cijena: prebacivanje između javnog i privatnog oblaka može rezultirati gubljenjem financijskih resursa,
- Upravljanje: potrebna je kompatibilnost i integracija infrastrukture kako bi oblak pravilno funkcionirao, što rezultira u manjku upravljanja,
- Kompleksnost: dodatna kompleksnost infrastrukture zbog korištenja više modela.

#### 2.2.2.4 Zajednički oblak

Važno je naglasiti da bez obzira koji se model koristi, problemi ne nestaju. Cijena uvijek može biti prevelika, sigurnost premala itd. Zato postoji i četvrti model računalstva u oblaku. Zajednički oblak je model koji radi na principu višestrukog dijeljenja, odnosno oblak kojeg dijeli nekoliko organizacija.

Ovakav model koriste organizacije koje imaju zajedničke potrebe, misije, zahtjeve sigurnosti i slično. Svrha ovog modela omogućiti je različitim korisnicima da rade na zajedničkim projektima i aplikacijama koje pripadaju zajednici, a ne samo jednoj organizaciji ili poduzeću, [10].

Temelj ovog modela je centralizirana infrastruktura u oblaku. Zajednički oblak je distribuirana infrastruktura koja rješava specifične probleme poslovnih sektora integriranjem usluga koje pružaju različite vrste rješenja. Troškovi se također dijele između nekoliko klijenata pa je i kod tog aspekta moguća ušteda, [12].

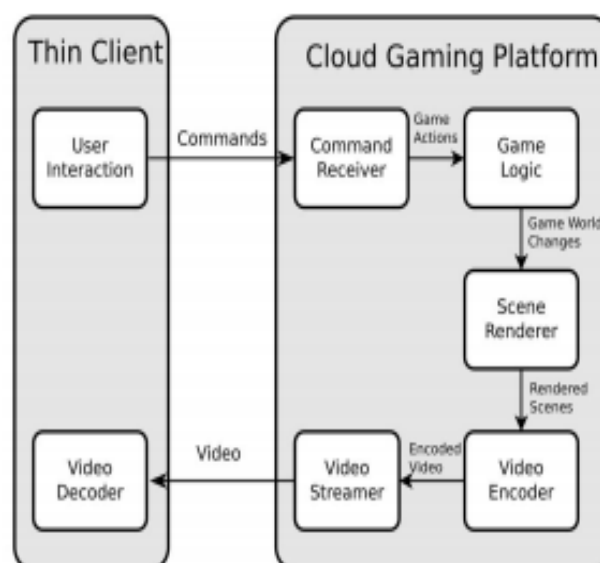
Najveće brige pri korištenju zajedničkog oblaka javljaju se pri sigurnosti i povjerenju. Ne postoji standardni model za definiranje i identificiranje idealnih sigurnosnih obveza. Više organizacija ima pristup i kontrolu nad infrastrukturom u zajedničkom oblaku, što prema [11] zahtijeva posebne sigurnosne konfiguracije:

- svaki sudionik ima ovlaštenu pristup podacima, stoga se organizacije moraju potruditi da ne dijele osjetljive podatke,
- pravila i propisi mogu biti različiti ili zbunjujući, jedna organizacija možda će se morati pridržavati pravila druge organizacije,
- dogovori između različitih organizacija moraju biti jasni, ako postoje različiti zadaci mora se znati tko točno obavlja određene zadatke kako ne bi došlo do nepotrebnog trošenja ljudskih ili financijskih resursa.

### 3. Razvoj igranja u oblaku

U posljednjih nekoliko godina videoigre postale su jedna od najbrže rastućih industrija u svijetu. Od dana igranja ranijih jednostavnih arkadnih igara do implementacija umjetne inteligencije u videoigre, industrija je uvijek bila na čelu inovacija i napretka. Međutim, računalstvo u oblaku dodalo je novo poglavlje u svijet videoigara. Računalstvo u oblaku revolucioniralo je usluge videostrujanja i dovelo do osnivanja velikih organizacija poput *Google-a* i *Netflix-a*. Najbolji primjer platforme koja je izrasla u oblaku je *YouTube*, koji se u posljednjem desetljeću masovno proširio kako bi pružio još bolje iskustvo strujanja videozapisa.

Igre u oblaku obećavajuće su aplikacije brzo rastuće infrastrukture računalstva u oblaku. Videoigre u oblaku odnose se na tehnologiju koja prenosi dijelove softvera videoigara s tradicionalnih igračih konzola ili osobnih računala na moćne i elastične infrastrukture u oblaku (slika 4). Tradicionalno se računalne videoigre preuzimaju s Internet mreže i instaliraju na osobno računalo krajnjeg korisnika koji korisnicima omogućuje pokretanje odgovarajuće videoigre. S veličinama videoigara koje se kreću u više desetina gigabajta, postupak preuzimanja i instalacije može potrošiti mnogo resursa i vremena.



**Slika 4.** Apstraktni prikaz igranja u oblaku, [14]

Nadalje, kako bi korisnici mogli zaigrati nedavno objavljene igre, potrebna im je veća i skuplja hardverska konfiguracija kako bi uopće pokrenuli videoigru. To je činjenica koja drugim riječima pokazuje kako korisnici konstantno moraju nadograđivati svoja osobna računala kako bi zadovoljili određene minimalne ili optimalne konfiguracije. Ovo je ključan faktor koji može rezultirati frustracijom, a na kraju i potencijalno onemogućiti korisnicima doživljavanje novih video igara.

Kako videoigre postaju sve popularnije, raste i potražnja za njima. Distribucija ima važnu ulogu u uspjehu videoigara, a ona dolazi u mnoštvu medija kao što su diskovi ili jednostavno kao podaci na računalu ili mobilnom uređaju. Važna odluka dizajnera videoigara je odabir medija na kojemu bi distribuirali svoju videoigru. Mnoge moderne videoigre postoje na mnogim medijima, što rezultira u povećanju vjerojatnosti da će ta videoigra biti nezakonito kopirana i preuzeta. Igre u oblaku mogu pomoći u rješavanju ovakvih problema.

### **3.1. Početak igranja u oblaku**

Pojam igranja u oblaku prisutan je od kasnih 2000-ih godina, ali tehnologije i brzine Interneta nisu bile isprva optimizirane za njezinu implementaciju. Prva velike usluge igranja u oblaku bile su *OnLive* i *GaiKai*. *GaiKai* je američka organizacija koja je nastala 2008. godine i pruža potrebnu tehnologiju za strujanje videoigara. *OnLive* je pokrenuta u lipnju 2010. godine. Koristila je malu konzolu za strujanje videoigara i poseban kontroler, slično kao što sada čini *Google Stadia*. Također bila je podržana u *Windows* i *Mac* operacijskim sustavima putem Internet preglednika, [13].

*OnLive* je nudio videoigre koje su u to vrijeme bile dostupne za konzole. Te igre su imale vizualnu kvalitetu sličnu kao i na tradicionalnim konzolama, iako valja napomenuti da je tehnologija bila tek u povojima što je rezultiralo problemima s kašnjenjem u mnogo videoigara, [20].

U isto vrijeme predstavljen je i *GaiKai*, koji je imao dva potpuno različita modela. Jedna je usluga pružala strujanje demo verzije videoigara kako bi korisnici mogli isprobati samu videoigru i kasnije je kupiti preko lokalnih trgovina. To je bio jedan od

mnogih pokušaja borbe protiv digitalne prodaje u to vrijeme. Drugi model prenosio je cijele videoigre kupljene od izdavača na mrežne stranice, pametne televizore itd., [20].

U početku, s obzirom na ograničene razmjere ovakvog načina igranja videoigara, ljudi nisu bili sigurni može li igranje u oblaku biti komercijalno uspješno. Pojavom ovakvog koncepta postavljalo se pitanje kako će ovakav način igranja utjecati na druge proizvođače videoigara i konzola kao što su *Microsoft*, *Sony*, *Nintendo*. Odgovor je u početku bio nejasan, a mnogi su sumnjali kako bi navedeni proizvođači bili više nego sretni ako igranje u oblaku ostane neprofitabilno.

Sumnje nisu dugo trajale jer je *Sony* 2012. godine kupio *GaiKai* za 380 milijuna dolara i najavio svoju novu platformu *PlayStation Now* (*PS Now*). Koristeći *PS Now*, *Sony* omogućuje korisnicima igranje stotine videoigara koje su inače dostupne na njihovim konzolama bez kupovine samih igara, potrebno je samo platiti pretplatu. Razvitak i popularnost ove usluge ukazuje na to da igranje videoigara u oblaku ima veliki potencijal postati univerzalna platforma za videoigre, [20].

*Sony* je također kupio *OnLive* u travnju 2015. godine, samo da bi ga zatvorio četiri tjedna kasnije, dok je *GaiKai* postao ključan za *Sony*-ev daljnji razvoj u računalstvu u oblaku. Unatoč zatvaranjem *OnLive*-a, naponi oko razvoja igranja u oblaku su se pojačali. *Sony* je predstavio svoju novu platformu *Playstation Now* u *beta* obliku 2014. godine. Otprilike u istom razdoblju, *Nvidia* i *Google* počeli su istraživati vlastite usluge igranja u oblaku, [19].

2013. godine *Nvidia* počinje testirati svoju uslugu koja je uzela drugačiji pristup. Umjesto strujanja videoigara koje korisnici nemaju u vlasništvu, *Nvidia* dopušta korisnicima strujanje videoigara koje oni sami posjeduju. Pod nazivom *GeForce Now*, radila je na različitim operacijskim sustavima, mobilnim uređajima i pametnim televizorima.

Takav način se pokazao doista uspješnim jer *Nvidia* tvrdi kako je *GeForce Now* skupila preko četiri milijuna pretplatnika u veljači 2020. godine. No, ovakav neobičan model donio je problem autorskih prava. Kada korisnik kupuje videoigru digitalno, izdavač očekuje kako će je on igrati samostalno bez ovisnosti o mreži. Igranje preko *GeForce Now* aplikacije mijenja tu činjenicu i upravo zbog toga taj model nije prošao dobro kod izdavača i proizvođača video igara, [20].

Zadnja organizacija koju je važno napomenuti je *Google*. U listopadu 2018. godine *Google* lansira zatvoreno *beta* testiranje za svoju uslugu igranja u oblaku pod nazivom *Project Stream*. *Project Stream* pokazao se popularan među korisnicima koji su dobili pravo na testiranje. Treba napomenuti da su prava dobili samo oni korisnici koji su imali više nego dovoljnu pristupnu brzinu, kako bi mogli testirati uslugu u cijelosti.

Ta usluga je s vremenom preimenovana u *Google Stadia*, koja je lansirana u studenom 2019. godine. Usluga je pohvaljena zbog bolje kvalitete slike od ostalih rivala. No, *Google Stadia* je poput mnogih usluga pri pokretanju bila nepotpuna. Nedostajale su brojne obećane značajke, uključujući podršku za vlastiti *Stadia* kontroler, također nije podržavala 4K rezoluciju putem preglednika, iako je u marketingu tako prikazano. Gledajući *Google*-ovu prošlost u zatvaranju neuspjelih projekata (npr. *Google Plus*, *Google Express* itd.), javljala se zabrinutost da će se isto to dogoditi i sa upravo *Google Stadia* uslugom, [20].

### 3.2. Izazovi i pitanja

Od strujanja videa uživo s vrlo niskim kašnjenjem do prikaza 3D slike visokih performansi, igru u oblaku mora okruživati vrhunska tehnologija kako bi pravilno funkcionirala. Sustav igre u oblaku mora prikupljati radnje korisnika, prenositi ih na poslužitelja u oblaku, obrađivati prikupljene radnje, iscrtati rezultate, kodirati promjene koje se događaju u videoigri i strujati promijenjenu scenu prema igraču. Kako bi se osigurala interaktivnost, sve ove operacije moraju se dogoditi unutar nekoliko milisekundi.

Ovo vrijeme može se definirati kao kašnjenje pri interakciji, ono mora biti što kraće kako bi se osiguralo zadovoljavajuće iskustvo korisnika u oblaku. Međutim, ako je tolerancija igrača manja na kašnjenje pri interakciji, sustav ima manje vremena za izvođenje drugih operacija kao što su iscrtavanje slike ili kompresija videa, [14].



### 3.2.1. Tolerancija na kašnjenje pri interakciji

Provedena su brojna istraživanja o učincima kašnjenja na igranje videoigara. Osim toga, postoje brojne studije koje govore u učincima kašnjenja na interaktivnost multimedijske aplikacije poput audio i video konferencije. Ipak, iako su igre u oblaku slične tradicionalnim igrama u smislu korisničkih interakcija, postoje temeljne razlike u interakciji korisnika s medijima. Često se utvrđuje učinak kašnjenja u video konferencijama praćenjem govornog dijaloga i video slike.

Takva interakcija temeljena na glasu nije sastavni dio većine videoigara. Učinci kašnjenja razlikuju se ovisno o žanru videoigre. Prema [14] studije su pokazale kako različiti žanrovi igara imaju različite pragove za maksimalno podnošljivo kašnjenje. Tablica 1 prikazuje maksimalno kašnjenje koje prosječan igrač može tolerirati prije nego što se iskustvena kvaliteta počne pogoršavati. Prema tablici vidljivo je da videoigra koja se igra u prvom licu ima puno manju toleranciju na kašnjenje nego videoigra koja se igra u trećem licu.

Moglo bi se zaključiti da je tolerancija niža zbog toga što su videoigre u prvom licu puno više temeljene na akcijama i brzim radnjama, dok druga dva spomenuta žanra toleriraju puno veće kašnjenje.

**Tablica 1.** Tolerancija na kašnjenje u različitim žanrovima

Primjer žanra	Perspektiva	Tolerancija na kašnjenje
<i>First Person Shooter</i>	Prvo lice	100 ms
<i>Role Playing Game</i>	Treće lice	500 ms
<i>Real-time Strategy</i>	Odozdo prema dolje	1000 ms

Iako postoji velika sličnost između kašnjenja pri interakciji između tradicionalnih i igara u oblaku, postoje kritične razlike. Prvo, kod tradicionalnih igara kašnjenje pri interakciji predstavljalo je problem samo kod umreženih igrača, odnosno onih koji su igrali videoigre na mreži s drugim igračima. Igre u oblaku to drastično mijenjaju, sve se

igre generiraju na daljinu i prenose preko oblaka to uređaja korisnika. To znači, da korisnici koji igraju samo *single-player* igre imaju problema s kašnjenjem.

Budući da igre u oblaku kodiraju korisnikove radnje u oblak, korisnički krajnji uređaj više nema mogućnost sakriti kašnjenje pri interakciji igrača. Vizualni znakovi, poput kretanja kursora miša, mogu se odgoditi i do tisuću milisekunde, pa je nepraktično očekivati da će korisnik tolerirati ista kašnjenja u igrama u oblaku kao što to čine u tradicionalnom načinu igranja. Prema [14] maksimalno kašnjenje pri interakciji trebalo bi iznositi najviše dvjesto milisekundi, čak i manje za igre u prvom licu, kako ono ne bi utjecalo na iskustvenu kvalitetu korisnika.

### 3.2.2. Kodiranje i videostrujanje

Zahtjevi za strujanje videoigara u oblaku prilično su slični videostrujanju medija uživo. Igre u oblaku i prijenos medija uživo moraju brzo kodirati, komprimirati dolazni video i distribuirati ga krajnjim korisnicima. Međutim, postoje i razlike u strujanju uživo i igara u oblaku. Kod igranja u oblaku međuspremnik (eng. *buffer*) video okvira na strani korisnika praktički nema nikakav kapacitet.

To je zato što kada korisnik izdaje naredbu, ta naredba mora prijeći Internet mrežom do oblaka, mora biti obrađena u samoj videoigri, prikazana od strane procesorske jedinice, komprimirana video koderom i poslana natrag do korisnika. S obzirom na to da se sve to mora obaviti za manje od dvjesto milisekundi, očito je da nema mnogo kapaciteta. Drugim riječima, oblak ne smije dopustiti da međuspremnik unosi dodatno kašnjenje u sustav i time naruši cijelu interaktivnost usluge.

Vrlo osjetljive potrebe kodiranja igara u oblaku u stvarnom vremenu čine odabir video koder od iznimne važnosti za svakog pružatelja usluga igara u oblaku. Postoji softverski pristup kodiranju ili specijalizirani hardver za kompresiju. U oba slučaja, bitno je da koder ima vrlo visoki omjer kompresije i da se može konfigurirati kako bi dobro radio u strogim zahtjevima u stvarnom vremenu, [14].

### 3.3. Procjene iskustvene kvalitete tijekom igranja u oblaku

Svodeći se na jednostavnu definiciju, može se reći da je iskustvena kvaliteta mjera ukupne razine zadovoljstva korisnika uslugom iz njegove perspektive. Glavna razlika u odnosu na kvalitetu usluge je to što iskustvena kvaliteta obuhvaća subjektivna iskustva korisnika uz mjerenje objektivnih parametara performansi sustava.

Mjerenje i modeliranje korisničkog iskustva za igranje u oblaku nije nimalo lagani zadatak jer su metrike iskustvene kvalitete uvijek subjektivne. Konkretno, potrebno je dovesti dovoljno subjekata te provesti dugotrajne i skupe korisničke studije. Nakon toga potrebno je predložiti, ocijeniti i implementirati praktične modele za povezivanje QoE i QoS (eng. *Quality of Service*) mjerila.

Iskustvena kvaliteta korisnika proučavana je u puno izvora i može se svrstati u dvije grupe: opća procjena igranja u oblaku i procjena mobilnog igranja u oblaku, gdje su mobilni uređaji ograničeni resursima i osjetljivi na lošije mrežne uvjete. Mobilno igranje u oblaku nije točka interesa ovoga rada, stoga u nastavku prikazana su neka istraživanja vezana za iskustvenu kvalitetu pri igranju u oblaku.

M. i K. Claypool u svom znanstvenom radu [16] obrađuju kako kašnjenje utječe na iskustvo igranja u mreži, te kako potencijalno dizajnirati videoigre kako bi ublažili njezine učinke i ispunili očekivanja korisnika. Autori navode kako se utjecaj kašnjenja može kategorizirati prema zahtjevima preciznosti, modelu interakcije i perspektivi igrača. Na temelju tih pretpostavki napravljen je model koji prikazuje različiti utjecaj istih kašnjenja u različitim žanrovima videoigara.

R. Dabrowski i drugi autori u svom znanstvenom radu [17] opisuju svoje istraživanje provedeno uz pomoć detaljne ankete. Subjekti su izloženi igranju specifične videoigre koja je izabrana zbog svoje jednostavnosti i sustava bodovanja. Na temelju bodovanja prikazan je utjecaj kašnjenja na igranje u oblaku, dok je pomoću ankete prikazano iskustvo subjekata kroz istraživanje.

V. Clincy i B. Vilgor [18] detaljno proučavaju nepovoljne učinke mrežnih uvjeta na korisničko iskustvo. Proučavaju mrežne efekte kao što su gubitak paketa i kašnjenje/latencija, te ulogu koju imaju u određivanju korisničkog iskustva.

### 3.4. Trenutno dostupne usluge igranja o oblaku

Igre u oblaku nisu ništa novo i postoje u različitim oblicima još od 2008. godine. No, konstantan izlazak novijih, jačih i pametnijih tehnologija pridonosi ostvarenju temeljne ideje koja je korištenje moći poslužitelja u oblaku za pokretanje videoigre i njeno strujanje na sličan način kao što *Netflix* radi sa svojim proizvodima.

Korisnik još uvijek ima potpunu kontrolu nad videoigrom, ali u idealiziranom obliku, igre u oblaku omogućuju igranje najnovijih videoigara s najboljom grafikom bez potrebe za kupovinom konzole ili dovoljno jakog osobnog računala. Iako ove usluge još uvijek rade na postizanju krajnjeg cilja, barem su pokazale da je ideja dovoljno održiva da pruži dovoljno dobru iskustvenu kvalitetu korisniku, [22].

Tijekom godina napravljeni su veliki iskoraci u smanjenju kašnjenja pri interakciji korisnika. No, treba napomenuti da igranje video igara u oblaku nije isto kao i kad se one pokreću s vlastite konzole. Osjetljivost je nešto manja, što igre u oblaku čini ne tako sjajnim izborom za umrežene i kompetitivne videoigre. No, kod videoigara s jednim igračem opća je suglasnost da su usluge igranja u oblaku sada dovoljno blizu kada je u pitanju repliciranje iskustva igranja preko konzole ili osobnog računala.

Druga stvar koju treba uzeti u obzir je da se igranje u oblaku samo poboljšalo od kada je prvi puta stiglo na tržište i sigurno će se nastaviti kretati u tom smjeru, [22]. Trenutno postoji pozamašni broj usluga igranja u oblaku, a neke od njih su sljedeće:

- *GeForce Now*,
- *Shadow*,
- *Google Stadia*,
- *Playstation Now*,
- *Project xCloud*,
- *Steam Link*.

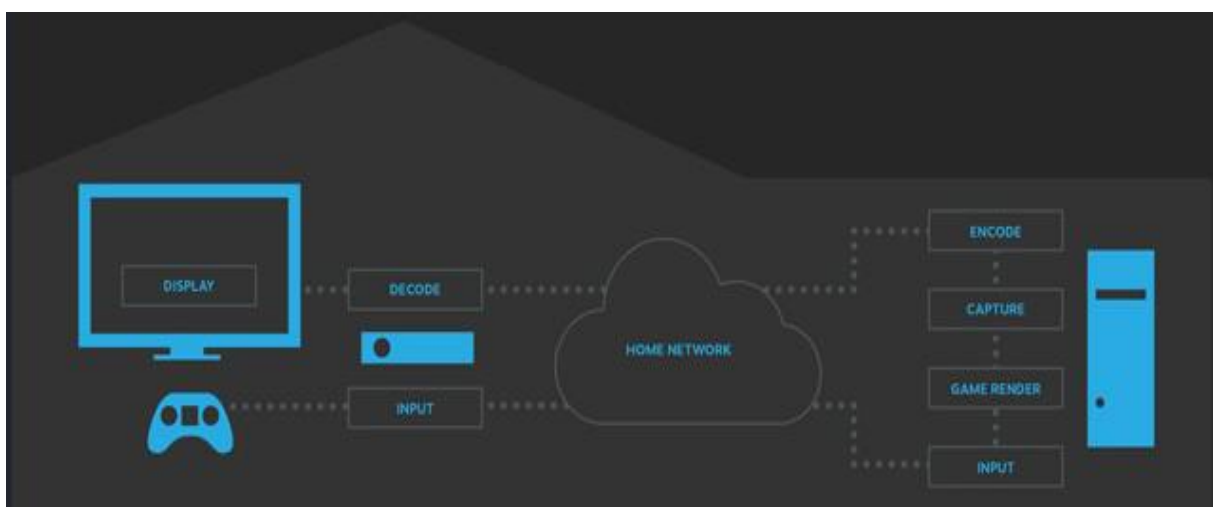
Navedene usluge bile su razmatrane za analiziranje u ovome radu. Na kraju odabrane su usluge *Steam Link* i *GeForce Now*. U uži izbor ušle su tri usluge: *Google Stadia*, *GeForce Now* i *Steam Link*. *Google Stadia* je ispala zbog svoje neobične politike, tj. *Google* traži uz plaćanje pretplate i kupovinu samih videoigara na njihovoj platformi, što je izrazito neisplativo. *GeForce Now*, s druge strane nudi opciju

integracije s vlastitim *Steam* računom i tako omogućuje igranje već prije kupljenih igara. No, na kraju *Steam Link* pokazao se kao najbolja usluga zbog nekoliko razloga. Prvi razlog je to što korisnik može pokrenuti svaku videoigru koju posjeduje na *Steam* platformi ili na nekoj drugoj platformi, ako je doda na popis u *Steam* aplikaciji, a drugi razlog je to što u sebi ima ugrađenu metriku za praćenje statusa mreže.

### 3.4.1. *Steam Link*

*Steam Link* je usluga koja omogućava korisnicima videostrujanje sadržaja kojeg posjeduju na *Steamu*, s jednog računala na drugi. *Steam Link* je razvio i izdao na tržište *Valve* 2015. godine. U početku je postojao hardver koji se spojio na korisničku mrežu i tako omogućio igranje u oblaku, no s vremenom se hardverski način potpuno pretvorio u softver.

*Steam Link* se koristi na način da se *Steam* aplikacija instalira na računalo ili *Steam Link* aplikacija, ako je riječ o mobilnom uređaju. Kao što se može vidjeti na slici 5, ulazni podaci prolaze kroz mrežu sve do računala koji upravlja ulaznim podacima, iscrtavanjem, konvertiranjem i kodiranjem slike. Nakon što računalo kodira prikupljeni okvir, šalje ga na prikaz klijentu koji ga mora dekodirati prije samog prikaza. Uređaj koji se nalazi između ulaza i dekodiranja predstavlja hardverski *Steam Link*, dok je taj uređaj u ovom slučaju računalo korisnika, [21].



Slika 5. Prikaz rada *Steam Link* usluge, [21]

### 3.4.2. *GeForce Now*

*GeForce Now* predstavlja *Nvidia*-in pokušaj u pružanju usluge igranja u oblaku. *GeForce Now* je usluga igranja u oblaku putem koje korisnici igraju videoigre preko udaljenih poslužiteljskih računala. Korisnik je spojen putem Internet mreže na uslugu te koristi njezine fizičke resurse za pokretanje videoigara.

*GeForce Now* koristi više od dvadeset podatkovnih centara smještenih širom svijeta te korisnika spaja s najbližim slobodnim centrom u trenutku pokretanja videoigre. Usluga nudi besplatnu i plaćenu verziju. Najveća razlika u verzijama je to što plaćeni korisnik postaje prioritetni korisnik i tako izbjegava čekanje u redu za ulazak u videoigru. Ako korisnik izabere besplatnu verziju, mora biti spreman čekati nekoliko minuta prilikom svakog ulaska u videoigru, [26].

Za razliku od većine rivalskih usluga, *GeForce Now* ne prodaje videoigre niti daje pristup vlastitoj kolekciji videoigara. Umjesto toga, povezuje se s korisničkim računima na različitim platformama (*Steam*, *Epic Games Store*, itd.) kako bi omogućio igranje videoigara koje korisnik već posjeduje na takvim platformama.

Kako bi korisnik mogao zaigrati videoigru na *GeForce Now* platformi, mora legalno posjedovati videoigru na već spomenutim platformama i sama videoigra mora biti dostupna u *GeForce Now* biblioteci. Nisu sve videoigre dostupne, neki izdavači blokirali su korištenje većine svojih videoigara zbog razloga kao što su rivalstvo, ali još uvijek postoji tisuće naslova dostupnih na platformi, [26].

## 4. Analiza dodavanja kašnjenja u mrežu

Dva faktora koja treba uzeti u obzir kada je riječ o igrama u oblaku su kašnjenje i propusnost. Korisnicima je vjerojatno poznato kašnjenje ili kako se često naziva *ping*. *Ping* u videoigri prikazuje koliko je vremena potrebno, obično u milisekundama, korisničkom signalu da prijeđe kroz mrežu do poslužitelja i natrag do korisnika.

Kašnjenje se u mrežnom igranju koristi za mjerenje koliko je veza korisnika kvalitetna jer su samo bitni zahtjevi koje korisnik šalje. Zbog toga se podaci o stanju videoigre ne moraju prenositi putem mreže. Jedini podaci koje je potrebno prenijeti preko mreže su interakcije korisnika s videoigrom.

Npr. ako korisnik igra pucačinu iz prvog lica s *ping*-om od osamdeset pet milisekundi i pogodi drugog korisnika, to znači da je potrebno osamdeset pet milisekundi kako bi se taj podatak poslao drugom korisniku i vratio prvom. Kašnjenje je uglavnom faktor udaljenosti poslužitelja od fizičke lokacije korisnika. Što je korisnik bliže poslužitelju, kašnjenje je u većini slučajeva manje.

U ovom poglavlju opisana je metoda dodavanja kašnjenja u mrežu. Objašnjeno je na koji je način testiranje provedeno, koje vrste videoigara su igrane i koliko dugo su se igrale. Testu je pristupilo pet korisnika različite dobi, korisnici su bili svjesni da pristupaju testu u studijske svrhe, te su znali što ih očekuje. Objašnjeno im je na koji način će biti testirani i kako će morati ocijeniti svoje iskustvo. Na kraju svakog testa ocijenili su svoja iskustva numeričkim ocjenama.

### 4.1. Odabir videoigre

Kako bi iskustvena kvaliteta korisnika pri određenom kašnjenju bila pravilno testirana, za odabir videoigre su korišteni sljedeći kriteriji:

- korisnik mora odmah moći zaigrati igru,
- igra je dostupna na *Steam* platformi,
- rezultati ili ocjene su dostupni,

- mali nivo težine,
- brzo vrijeme odziva pri malom ili nikakvom kašnjenju.

Jedan od najboljih izbora pokazala se videoigra naziva *Race The Sun*. Premisa je vrlo jednostavna, korisnik kontrolira letjelicu koja se pokreće na solarni pogon. Korisnik juri prema zalasku sunca velikom brzinom u uzaludnoj utrci s vremenom. Na putu se nalaze razne prepreke koje su ponekad i neizbježne. Ova videoigra izabrana je zbog svoje jednostavnosti i laganog sustava bodovanja.

Korisniku ne treba puno da shvati inicijalne komande, što znači da nije potrebno puno vježbe prije testiranja. Težina se rapidno pojačava, što znači kratke sesije igranja. Korisnik ima jedan život, te kada ga izgubi, prikaže mu se bodovni rezultat, što ga čini idealnim za ovakvo testiranje.

## 4.2. Hardver

Hardver se sastoji od osobnog računala i prijenosnog računala. Osobno računalo služi kao poslužitelj na kojem se nalaze videoigre. Kako bi se *Steam Link* mogao koristiti potrebno je imati instaliranu *Steam* aplikaciju na oba računala, te oba računala moraju biti spojena na istu pristupnu mrežu ili na Internet mrežu. Osobno računalo pokreće videoigru i koristi svoju snažniju konfiguraciju kako ne bi došlo do prepreka, dok prijenosno računalo koristi *Steam Link* funkciju videostrujanja. Oba računala spojena su UTP (eng. *Unshielded Twisted Pair*) kabelom na mrežu konfiguracije 200 Mb/s *Download* / 100 Mb/s *Upload*.

Konfiguracija osobnog računala je sljedeća:

- Operacijski sustav: *Windows 10 Pro 64-bit*, verzija: 10.0.19043 *Build* 19043,
- Procesor: *Intel® Core™ i5-8400 @ 2.80 GHz*,
- Memorija: 16 GB DDR4 RAM,
- Grafička kartica: *NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB*,
- Disk: *Solid State Drive 240 GB*.

Konfiguracija prijenosnog računala je sljedeća:



- Operacijski sustav: *Windows 10 Pro Education*, verzija: 10.0.19041 *Build 19041*,
- Procesor: *AMD Ryzen 3 4300U*,
- Memorija: 8 GB DDR 4 RAM,
- Grafička kartica: *AMD Radeon™ Graphics*,
- Disk: *Solid State Drive 475 GB*.

### 4.3. Softver

Kako bi se umjetno dodalo kašnjenje ili gubitak paketa u mrežu korištena je aplikacija *Clumsy*. Sav korišten softver pri ovom testiranju je sljedeći:

- *Steam Link*,
- *Clumsy v0.2*,
- *Race The Sun*.

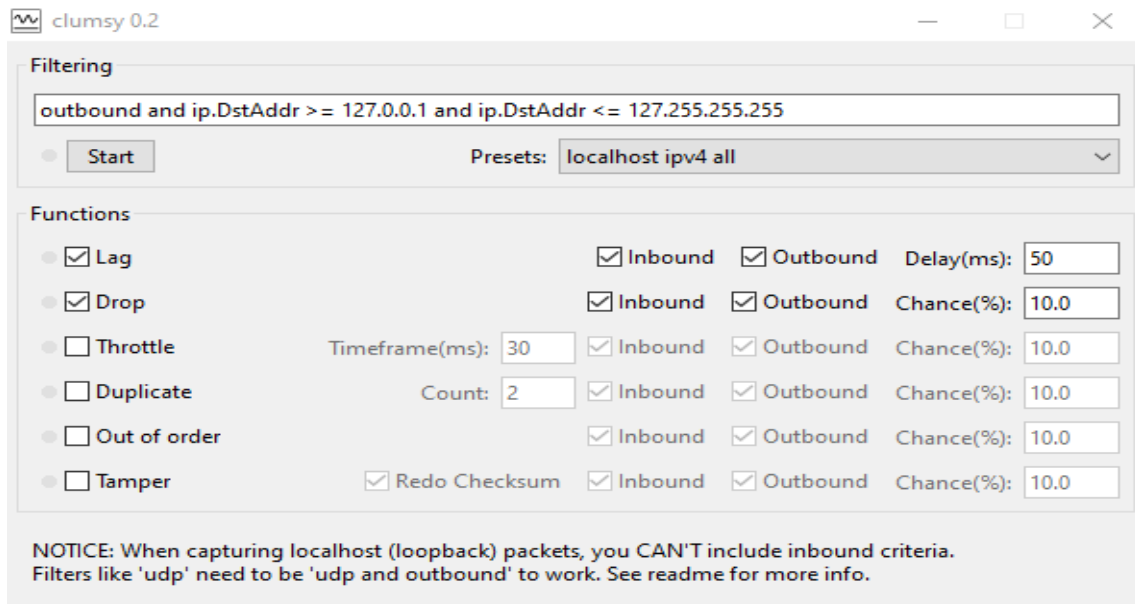
### 4.4. Proces testiranja

Proces testiranja sastoji se od pet sudionika koji sudjeluju u samostalnoj igračkoj sesiji koja sadrži prijenosno računalo kojeg sudionik koristi i stolno računalo na kojemu se izvodi igra putem *Steam Link* platforme. *Steam* aplikacija instalirana je i na prijenosnom i na stolnom računalu.

Sudionicima je predstavljena videoigra (*Race The Sun*) koja se koristila u testiranju, te im je dano malo vremena kako bi se upoznali s njom. Nakon što su savladali osnovne kontrole, sudionici kreću s testom. Pošto je dostupan samo jedan život, sudionici igraju tri puta. Nakon izgubljenja tri života igračka sesija je završena i uzima se prosječni rezultat. Kada sudionik završi s prvim osnovnim testom, prolazi kroz različite scenarije, kao što je prikazano u tablici 2, nasumičnim redoslijedom. Svaki scenarij dolazi s različitim mrežnim uvjetima. Tablica 2 prikazuje detalje scenarija, dodatno kašnjenje (izraženo u ms), dodatni gubitak paketa.

Nakon što sudionik završi sa scenarijem, bilježi se njegov rezultat i od njih se traži da ocijene iskustvo igranja. Važno je napomenuti da test uvijek započinje i

završava sa osnovnim scenarijem u kojem nema dodatnog kašnjenja ili gubitka paketa. Za ubacivanje dodatnog kašnjenja u mrežu koristi se aplikacija *Clumsy* koja posjeduje niz jednostavnih naredbi koje opterete mrežu (slika 6), [22].



**Slika 6.** Sučelje Clumsy aplikacije

Za sustav rangiranja koristi se MOS (eng. *Mean Opinion Score*) sustav, ali koristi se skala od 1 do 7 umjesto od 1 do 5, zbog psihološkog razloga, kako sudionici ne bi razmišljali o školskom ocjenjivanju. Od sudionika se traži da odgovore na tri pitanja:

- kvaliteta grafike,
- kvaliteta interaktivnosti,
- ukupni rezultat.

**Tablica 2.** Prikaz mrežnih scenarija

Scenarij	Dodatno kašnjenje	Vjerojatnost gubitka paketa
S1	25 ms	0 %
S2	50 ms	0 %
S3	75 ms	0 %

S4	100 ms	0 %
S5	150 ms	0 %
S6	200 ms	0 %
S7	0 ms	2 %
S8	0 ms	4 %
S9	0 ms	6 %
S10	0 ms	8 %
S11	0 ms	10 %
S12	0 ms	15 %
S13	100 ms	1.00 %
S14	150 ms	0.50 %
S15	100 ms	2.00 %
S16	200 ms	0.50 %
S17	50 ms	3.00 %
S18	50 ms	2.50 %
S0	0 ms	0.00 %
S19	0 ms	0.00 %

## 5. Ograničavanje mrežne propusnosti

Kod umreženog igranja, propusnost, odnosno najveća količina podataka koja se može prenijeti mrežom u određenom trenutku, nije važna jer se prenose samo mali dijelovi podataka. Međutim, za igranje u oblaku propusnost je ključna metrika. Dok je kašnjenje bitno u oba slučaja, propusnost je jako važan faktor samo u igranju u oblaku jer je potrebno prenijeti mnogo podataka preko mreže.

Is crtavanje (eng. *rendering*) videoigre događa se na udaljenom poslužitelju, što znači da su tamo resursi koji stvaraju sliku. Zatim se tehnologijom strujanja ta slika is crtava na računalu korisnika. Zbog toga usluge igranja u oblaku ne zahtijevaju velike pristupne brzine preuzimanja. *Shadow* recimo traži samo 15 Mb/s, dok npr. *Netflix* preporučuje pristupnu brzinu od 25 Mb/s za ugodno gledanje 4K videa. Prenapučene mreže koje imaju premalu propusnost uzrokovat će probleme jer je odaziv interakcije ključan pri igranju preko mreže.

### 5.1. Odabir videoigre

Za ovo testiranje odabrana je videoigra *Last Epoch*. Glavni razlog zbog ovog odabira je žanr same videoigre. Naime, *Last Epoch* pripada žanru aRPG (eng. *Action Role-Playing Game*) igara koji konstantno stvara jako puno protivnika na putu do cilja kojem igrač teži. Ta činjenica čini izbor ove videoigre idealan za testiranje *Steam Link* platforme.

### 5.2. Hardver

Hardver korišten pri ovom testiranju identičan je hardveru prošlog testa, za detalje pogledati poglavlje 4.2.

### 5.3. Softver

U odnosu na prošli test, softver je malo drugačiji. Za ograničavanje propusnosti koristi se aplikacija *NetLimiter*, dok za praćenje mrežnog prometa koristi se aplikacija *Wireshark* ili statistika unutar same usluge igranja u oblaku. Sav korišten softver je sljedeći:

- *Steam Link*,
- *GeForce Now*,
- *Last Epoch*,
- *NetLimiter* 4.1.11.0,
- *Wireshark* 3.4.7.

### 5.4. Proces testiranja

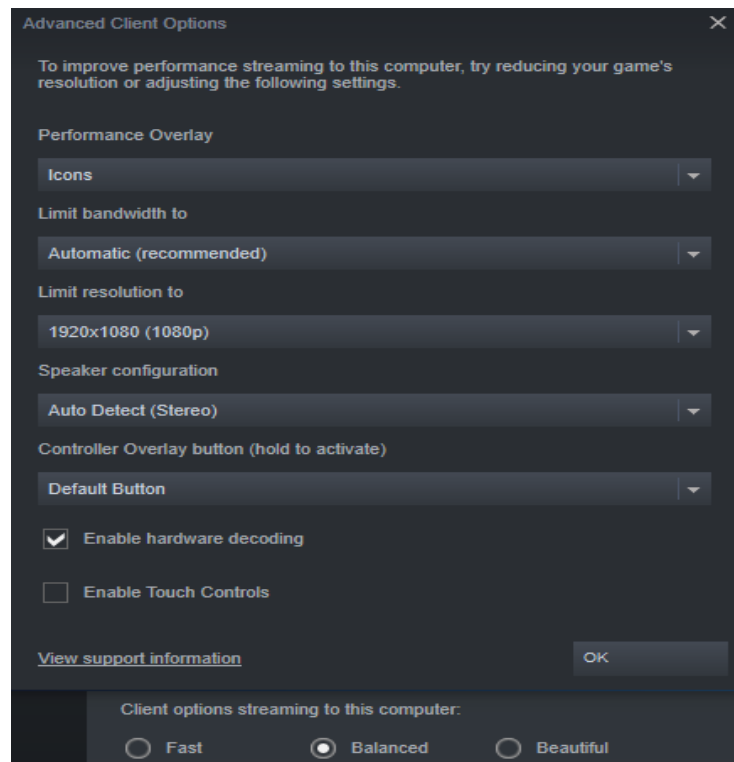
Analiza mrežne propusnosti predstavlja test koji bi trebao pomoći običnom korisniku u odluci kupovine usluge u oblaku. Svaki pružatelj usluge definira minimalnu konfiguraciju potrebnu za korištenje njegove usluge, no javlja se pitanje je li ta minimalna konfiguracija uopće dovoljna za igranje u oblaku. Za provedbu ovakve analize izabrana je platforma *Steam Link* koja uz svoju jednostavnost nudi i neke opcije praćenja mrežnog prometa.

Prema [23] minimalna pristupna brzina za pokretanje igara preko *Steam Link* platforme iznosi 3 Mb/s, ali moderne videoigre uglavnom zahtijevaju pristupnu brzinu oko 10 Mb/s, dok neke od zahtjevnijih videoigra traže i veće brojeve. Ovo su vrlo maleni brojevi, što je i jedan od razloga zašto je ta platforma izabrana.

Sami proces testiranja sastoji se prvo u utvrđivanju koliko aplikacija koristi podataka ako nema postavljenih granica u mreži. Za praćenje mrežnog prometa u ovom slučaju korištena je *Wireshark* aplikacija, [24].

Na korisničkom računalu koji će emitirati videostrujanje postoji opcija biranja nekoliko postavki, detaljnije prikazano na slici 7. *Brzo*, *uravnoteženo* i *prekrasno* predstavljaju tri opcije koje govore kako korisnik želi da se igranje u oblaku ponaša.

Ako korisnik izabere *brzo*, sustav će prioritizirati performanse po cijeni grafike, ukoliko je to potrebno. *Prekrasno* predstavlja opciju koja prioritizira grafiku ispred svega, dok je *uravnoteženo* balans između prve dvije opcije. Za potrebe ovog testa ostavljena je opcija *uravnoteženo* jer je to opcija koju će većina korisnika izabrati. Rezolucija koja je prema zadanom stavljena da se podudara s rezolucijom ekrana na kojem se izvodi igra promijenjena je na 1920x1080 (1080p) zbog toga jer je poslije nje testirana i 1280x720 (720p) rezolucija.



**Slika 7.** Prikaz konfiguracije igranja u oblaku preko *Steam* platforme

Ostale opcije ostavljene su kako su i zadane, no valja napomenuti da se prva opcija odnosi na sučelje koje je prisutno na računalo koje emitira igru u oblaku. Slika 8 prikazuje takvo sučelje vidljivo tijekom jednog od testiranja i koji su mrežni podaci prikazani na njemu u datom trenutku. *Steam Link* pokazuje podatke kao što su prosječna pristupna brzina za klijenta i poslužitelja, prosječno kašnjenje, prosječna propusnost i još mnogo toga.

Kako bi se dobili precizniji podaci *Steam Link* može prikupljati mrežne podatke tijekom igračke sesije. Pohranjuje ih kao zip datoteke lokalno na računalo poslužitelja,

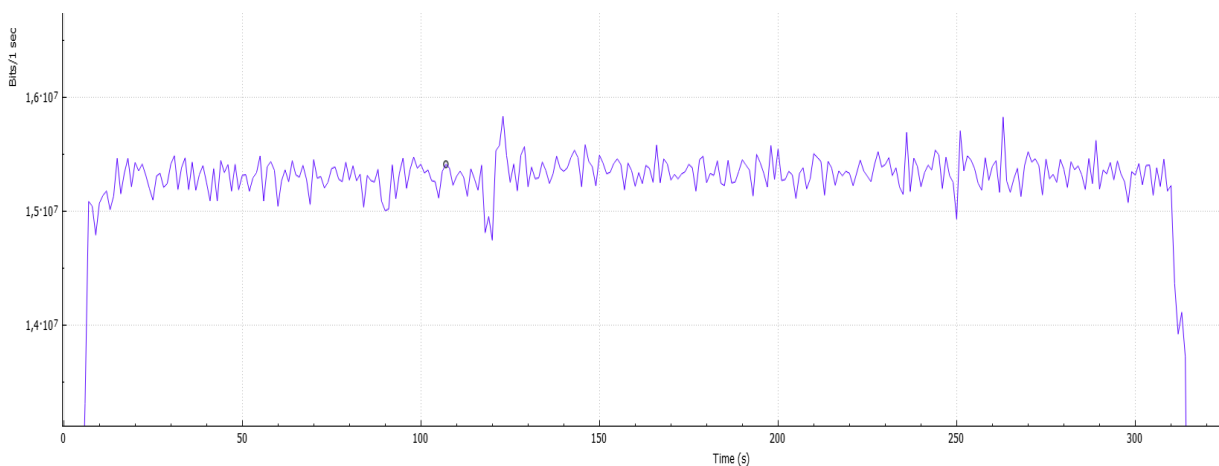
a u njima se nalaze podaci za svaki okvir u zadnjih deset sekundi kao i statistika mreže svake sekunde.



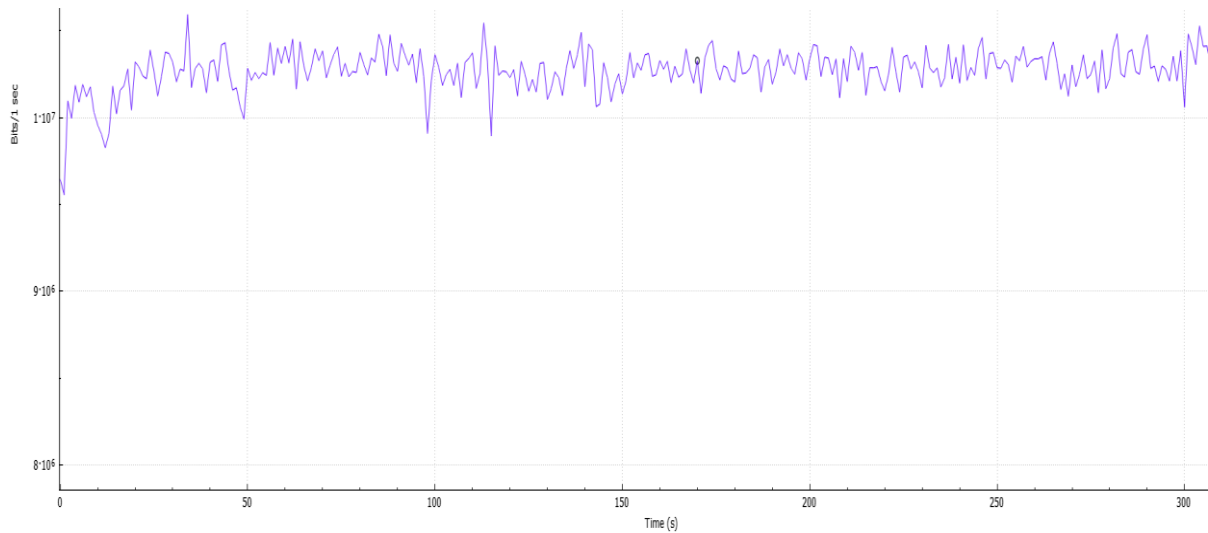
**Slika 8.** Mrežna statistika *Steam* platforme unutar igranja u oblaku

Grafikoni 1 i 2 prikazuju koliko zapravo igranje u oblaku troši mrežne resurse ako nisu postavljena nikakva ograničenja. Kao što je već rečeno ograničenje propusnosti u opcijama *Steam* aplikacije ostavljeno je na automatski, iako postoji opcija *neograničeno*, ali ta opcija nikako nije dobra za testiranje minimalne pristupne brzine jer koristi sve moguće mrežne resurse i brojke se penju do 50 Mb/s i više.

Iz grafikona 1 vidljivo je kako tijekom cijele igranje sesije aplikacija koristi između 14 i 16 Mb/s, iako na već spomenutoj statistici unutar videoigre, brojka nikada nije premašila 15 Mb/s. S druge strane, grafikon 2 pokazuje nešto manje brojke, što je i očekivano s obzirom da je rezolucija znatno smanjena. Tijekom cijele sesije zauzeto je oko 10 Mb/s, dok u nekim trenucima brojka pada i ispod te granice.



**Grafikon 1.** Brzina prijenaosa pri 1080p rezoluciji bez ograničenja



**Grafikon 2.** Brzina prijenosa pri 720p rezoluciji bez ograničenja

Sljedeći korak je upravo ograničavanje mrežne propusnosti do određenih točka određenih na temelju prijašnjih grafova. Pri testiranju na 1080p rezoluciji propusnost je ograničena na sljedeći način:

- 15 Mb/s,
- 13 Mb/s,
- 10 Mb/s.

Sva umjetna ograničenja provedena su preko *NetLimiter* aplikacije koja nudi niz naredbi u koje je potrebno upisati željeno ograničenje. Unutar *NetLimiter* aplikacije kreirano je nekoliko pravila koja dopuštaju *Steam Link* aplikaciji korištenje mrežnih resursa do određenih granica, [25]. U slučaju testiranja na 720p rezoluciji mreža je ograničena na sljedeći način:

- 11 Mb/s,
- 9 Mb/s,
- 5 Mb/s.

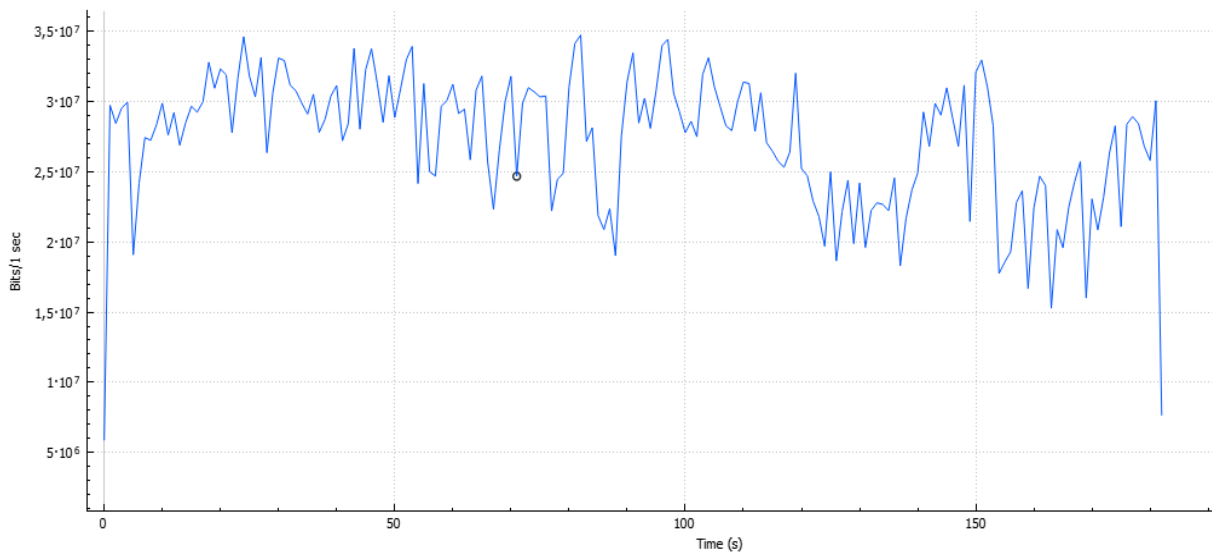
Iako *Steam Link* predstavlja vrlo atraktivnu uslugu igranja u oblaku, pogotovo s područja testiranja, testovi su provedeni na istoj mreži, što znači da nema udaljenosti između poslužitelja i klijenta. Kada se poslužitelj nalazi na nepoznatoj udaljenosti, mrežni zahtjevi automatski su povećani. Takva udaljenost zahtjeva puno kvalitetnije mreže koje vrlo vjerojatno korisnici s bakrenom paricom ne mogu u potpunosti



iskoristiti. Budući da se ovo testiranje obavljalo na optičkoj mreži, sagledana je i jedna takva usluga.

Izabrana usluga je *Nvidia*-ina *GeForce Now* aplikacija koja kaže kako korisnik mora imati minimalnu pristupnu brzinu od 15 Mb/s, dok preporučuje pristupnu brzinu od 25 Mb/s. Jedna od dodatnih mogućnosti je opcija *auto*, koja određuje najbolju moguću kombinaciju rezolucije i frekvencije prikaza sličica u sekundi (eng. *Frames per Second* - FPS) prema trenutnom procijenjenom stanju mreže.

Za provođenje testiranja, također izabrana je videoigra *Last Epoch*, upravo zbog neizbježne komparacije između dvije platforme. Iz grafikona 3 vidljivo je koliko *GeForce Now* iskorištava mrežu bez postavljenih ograničenja. U odnosu na *Steam Link* vidljivo je da *GeForce Now* ne koristi konstantno istu mrežnu propusnost, nego je smanjuje po potrebi, dok je prosječna pristupna brzina puno viša. Treba napomenuti da su ovo podaci za opciju *auto* pomoću koje *Nvidia* koristi svoj algoritam za određivanje potrošnje mrežnih resursa.



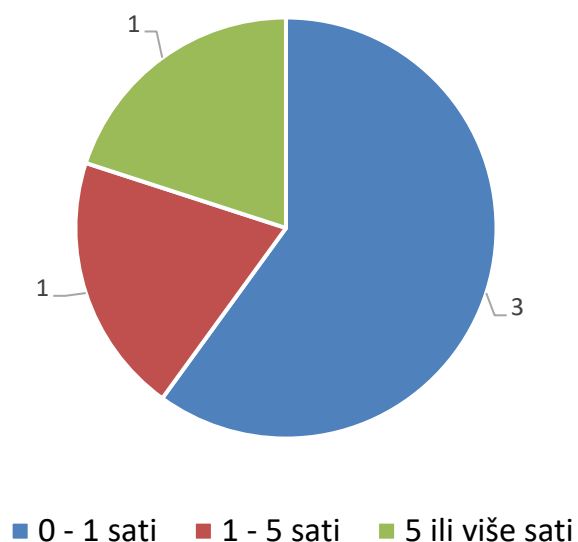
**Grafikon 3.** *GeForce Now* prilikom strujanja u 1080p rezoluciji bez ograničenja

## 6. Usporedba rezultata

U ovom poglavlju predstavljeni su rezultati provedenih analiza, uglavnom u obliku grafova zbog lakše interpretacije. Poglavlje je podijeljeno na dva dijela, svako za jednu provedenu analizu. Podaci prikupljeni iz pojedinačnih ispitivanja dolaze u dva dijela. Prvi dio započinje iskustvenom kvalitetom korisnika koji su svoje iskustvo ocijenili rezultatom u igri i numerički izvan nje, dok drugi dio prikazuje kvalitetu usluge pri različitoj mrežnoj propusnosti.

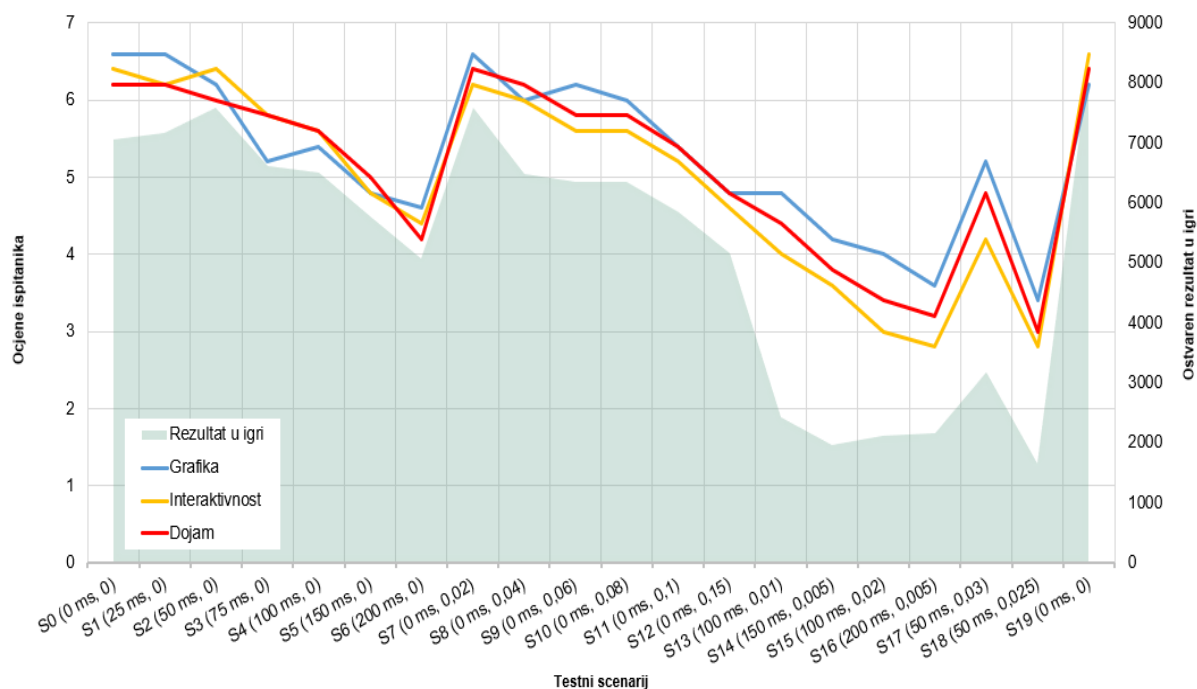
### 6.1. Iskustvo korisnika u različitim scenarijima

U testu je sudjelovalo pet korisnika koji su svaki scenarij prošli tri puta kako bi se uzeo prosječan rezultat svakog scenarija. Svi su korisnici između dvadeset tri i dvadeset sedam godina. Prije samog testiranja korisnici su bili pitani samo jedno pitanje, da opišu njihovo iskustvo s videoigrama. Grafikon 4 prikazuje koliko testirani korisnici prosječno provode vrijeme na videoigre u jednom tjednu.



**Grafikon 4.** Prikaz količine vremena u tjednu koje ispitanici provode igrajući videoigre

Grafikon 5 prikazuje prosječne rezultate za različite scenarije koji su detaljno prikazani u poglavlju 4.4. Vidljivi su numerički rezultati korisnika koje su oni postigli pri igranju i njihova mišljenja u obliku ocjena koje variraju između jedan i sedam.

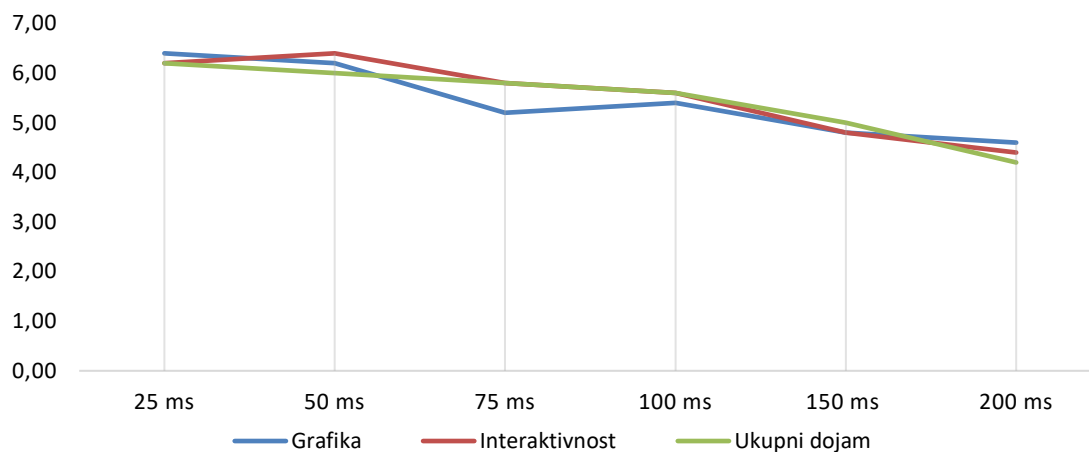


**Grafikon 5.** Odnos ocjena i rezultata kroz različite scenarije

Zanimljivo je primijetiti kako su generalno ocijene interaktivnosti malo niže od ocjena grafika, što je logično jer su svi korisnici upoznati s videoigrama i igranjem na vlastitoj konzoli ili osobnim računalom. Treba napomenuti da su S0 i S19 scenariji bez dodatnog kašnjenja i gubljenja paketa, te su oni uvijek provedeni na početku i na kraju testa.

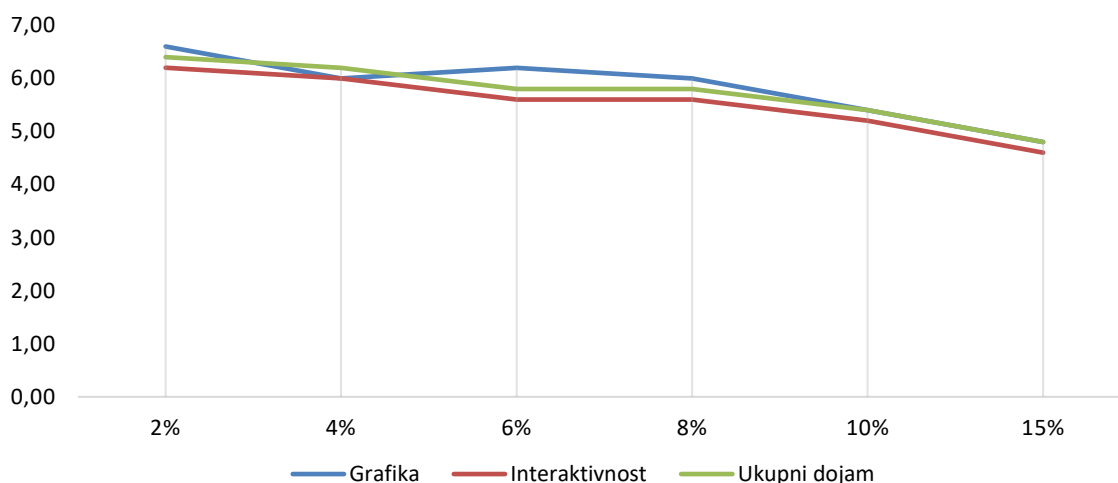
Scenariji vezani za kašnjenje (S1 – S6) nikad ne dosežu prosječnu vrijednost ispod četiri, dok scenariji vezani za gubitak paketa (S7 – S12) ipak dobivaju malo bolje ocjene u odnosu na prve scenarije. Tek kod scenarija gdje se dodaje kašnjenje i gubitak paketa (S13 – S18) počinju ocjene ići prema dolje. Scenariji S0 i S19 sadrže najbolje prosječne ocjene, što je i očekivani ishod, te su upravo zbog toga, oni i ubačeni u testiranje. Kako bi se bolje vizualizirao silazni trend kroz scenarije, na sljedećim grafikonima prikazane su odgovarajuće ocjene ovisno o scenariju.

Grafikon 6 prikazuje scenarije gdje je umjetno dodano kašnjenje u mrežu. Na grafikonu je vidljivo kako je scenarij s dodanim kašnjenjem od 200 milisekundi prošao najgore, dok je grafika kroz većinu scenarija ocijenjena najmanjom ocjenom.



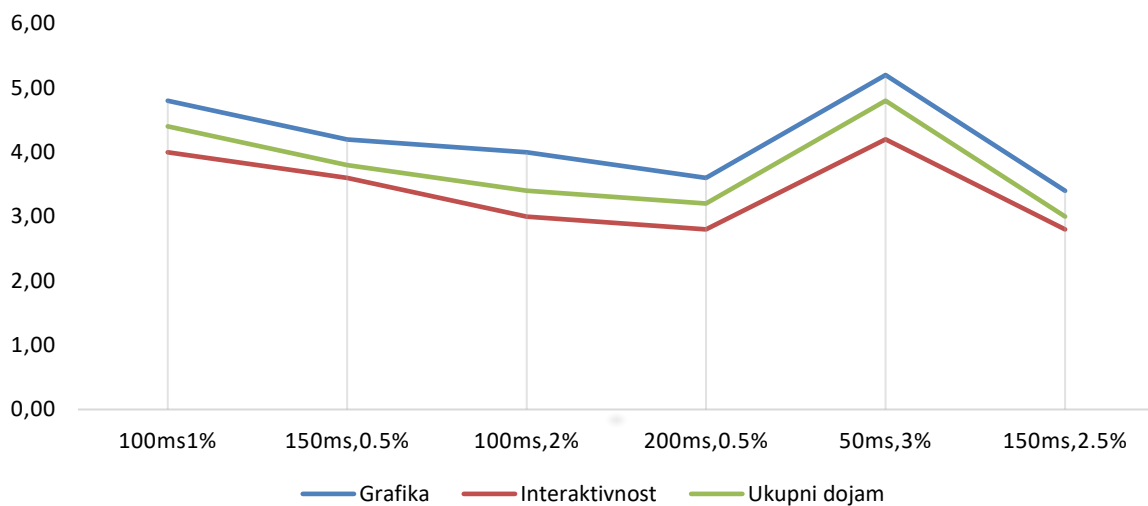
**Grafikon 6.** Scenariji gdje je dodavano kašnjenje

Grafikon 7 doima se vrlo slično prijašnjem grafu, ali jedna stvar je potpuno drugačija. Kvaliteta interaktivnosti puno je lošija u ovim scenarijima, dok je grafika puno bolje ocijenjena. Postoci označavaju vjerojatnost da paket bude izgubljen, te npr. scenarij s petnaest posto vjerojatnosti da se paket izgubi konstantno gubi između dva i tri posto paketa. S takvim gubicima nije iznenađujuće što je kvaliteta interakcije korisnika i igre u oblaku narušena.



**Grafikon 7.** Scenariji gdje je moguć gubitak paketa

Treća grupa scenarija prikazana je na grafikonu 8. Na ovom grafikonu vidljiva je velika razlika u ocjenama u odnosu na cijeli test. Ocjene su puno manje u odnosu na prošle scenarije, te se iz toga može zaključiti kako je tek kombinacijom ova dva faktora usluga ozbiljno narušena. Izuzetak u ovom slučaju je scenarij S17 gdje je aktivno kašnjenje od pedeset milisekundi i vjerojatnost da dođe do gubitka paketa tri posto. Prema tome može se zaključiti da kada dolazi do konstantnog gubitka paketa, kašnjenje igra puno veću ulogu u smanjenju iskustvene kvalitete korisnika.



**Grafikon 8.** Scenariji gdje je dodano kašnjenje i gubitak paketa

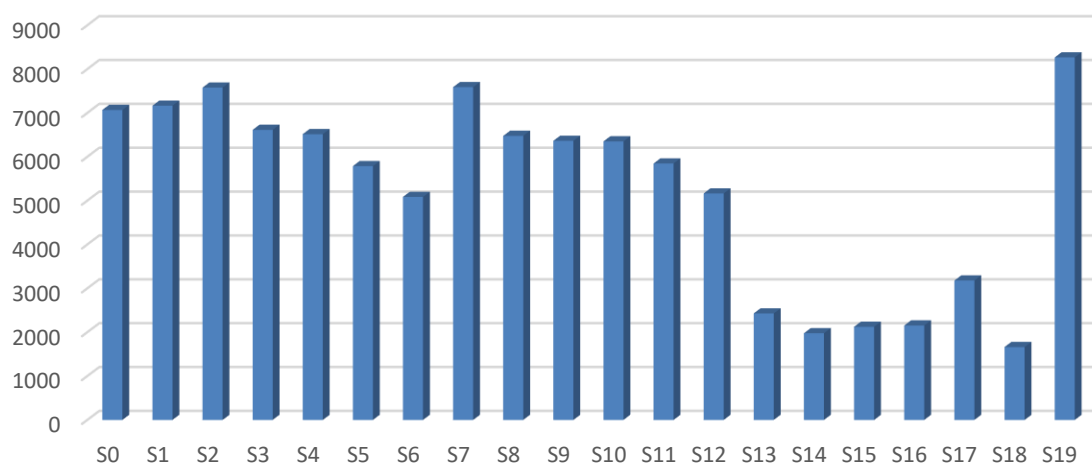
Gledajući sve grafove vidi se stalni pad performansi u svim scenarijima s dodanim kašnjenjem, sličan, ali bitno različit pad u scenarijima s gubitkom paketa i općenito najlošije performanse u scenarijima gdje su oba faktora prisutna. Ovi rezultati pokazuju da kašnjenje ima malo značajniji utjecaj na mišljenje korisnika, iako razlike nisu prevelike. Dodano kašnjenje od sto pedeset milisekundi uz konstantu vjerojatnost gubitka paketa od dva i pol posto, pokazao se najlošije ocijenjenim scenarijem, što dodatno potkrjepljuje činjenicu da će najniža ocjena biti ona s najvećom kombinacijom kašnjenja i gubitka paketa.

Gledajući postignute rezultate svakog korisnika nije iznenađujuće kako se podaci podudaraju s njihovim ocjenama. Bitno je opet napomenuti kako je svaki korisnik odigrao svaki scenarij tri puta. Razlog tomu je taj da testirana igra *Race The Sun* bilježi rezultat prilikom svakog izgubljenog života. To znači da korisnik može

počiniti grešku odmah na početku staze i tako narušiti cijeli prosjek. Dajući korisnicima tri života smanjuje se vjerojatnost da će se to dogoditi. Grafikon 9 prikazuje prosječne rezultate svih korisnika za svaki scenarij. Zanimljivo je to da se rezultati prilikom scenarija S0, S1 i S2 vrlo malo razlikuju, dapače S1 i S2 bilježe veći prosjek nego scenarij S0, iako u scenariju S0 kašnjenja nema. Isto to se događa i kod scenarija S8, S9 i S10, rezultati su vrlo slični iako bi trebali biti u silaznoj putanji.

Prema tome, iz ovih podataka mogu se zaključiti dvije stvari. Prvo, razlika između nula milisekundi i pedeset milisekundi zanemariva je za prosječnog korisnika. Prilikom umreženog igranja većina korisnika igra videoigre na *ping*-u između trideset i sedamdeset milisekundi. Ako je riječ o profesionalnom igranju odgovor je puno drugačiji, no prosječan korisnik nema nikakvih primjedba ako mu je kašnjenje tih proporcija prisutno prilikom igranja na osobnom računalu.

Druga stvar koja je bitna kod ovih rezultata je sami korisnik. Korisnici nisu prolazili kroz scenarije kronološki, scenariji su izabrani nasumičnim odabirom za svakog korisnika. Jedina konstanta kod svih korisnika je scenarij S0 i S19. Upravo je to jedan od razloga zašto scenarij S2 ima veći prosječan rezultat od scenarija S0. Dok je scenarij S0 uvijek prvi za korisnika, scenarij 2 može doći puno kasnije prilikom testiranja. Drugim riječima, u takvom slučaju, korisnik bi scenarij dočekao s puno više iskustva i time postigao veći rezultat. Stoga, sasvim je logično da je upravo scenarij S19 postigao najbolje rezultate prilikom testiranja.

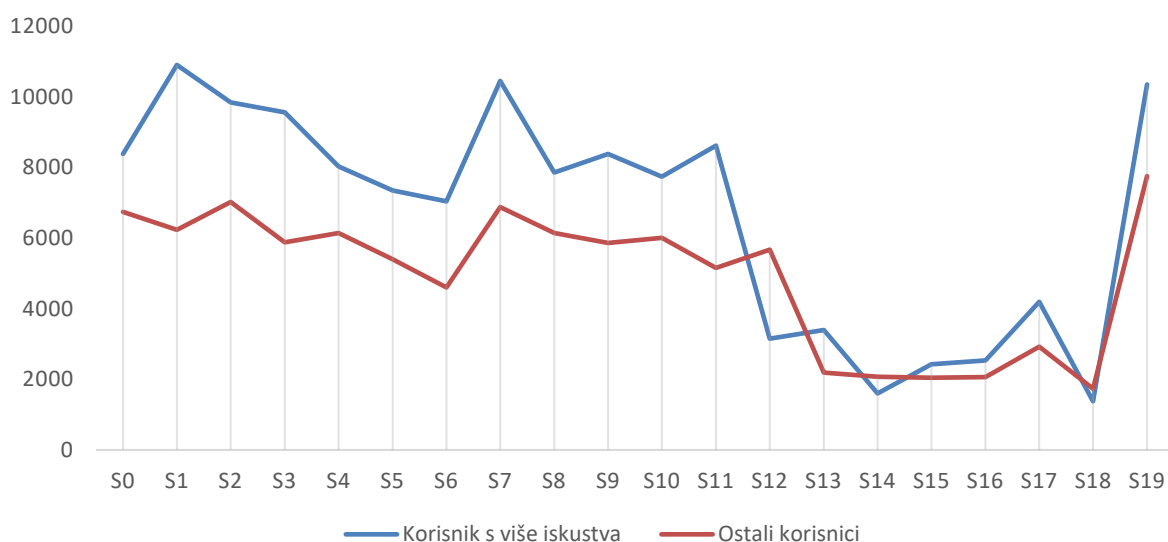


**Grafikon 9.** Prosjek rezultata prilikom različitih scenarija

Gledajući grafikon 4 vidljivo je da jedan korisnik provodi puno više vremena igrajući videoigre od ostalih. Na temelju te statistike i prijašnjeg zaključka napravljen je grafikon 10. U grafikonu su prikazani rezultati korisnika s više iskustva u igranju video igara i prosjek ostalih rezultata. Zanimajući scenarij S12 gdje je rezultat puno manji od prosjeka, svaki drugi rezultat u prve dvije grupe scenarija puno je veći od prosjeka.

Ovi podaci nisu iznenađujući s obzirom na prošle zaključke, no ono što je zanimljivo su scenariji u trećoj grupi. Grupa scenarija između S13 i S18 su scenariji koji kombiniraju gubitak paketa i dodano kašnjenje. Čini se da u tim slučajevima iskustvo nije uopće pomoglo, što je rezultiralo ispod prosječnim rezultatima.

Objašnjenje leži u samoj iskustvenoj kvaliteti i kvaliteti usluge koje su ti scenariji ozbiljno narušili. Iako je svaki scenarij narušio određeni postotak kvalitete usluge, u prijašnjim scenarijima korisnik s boljim vještinama uspješno je postizao iznad prosječne rezultate. No, u zadnjoj grupi scenarija iskustvena kvaliteta dovoljno je narušena da vještine ne igraju značajnu ulogu u postizanju rezultata. Kako *Race The Sun* odmah stavlja korisnika u akciju, izbjegavanje prepreka postaje „lutrija“, a ne vještina. Stoga nije iznenađujuće da su neki od ostalih korisnika postigli bolje rezultate u ovoj skupini scenarija.



**Grafikon 10.** Kontrast između iskustva i neiskustva

## 6.2. Definiranje minimalne mrežne propusnosti pri igranju u oblaku

Usluge igranja u oblaku zahtijevaju veliku količinu mrežne propusnosti. Igranje igara u oblaku može iskoristiti i do desetak gigabajta prometa tokom jednog sata. Ako postoje ograničenja propusnosti, korisnik mora imati dovoljno veliku pristupnu brzinu kako bi koristio uslugu bez većih prepreka.

Ideja ovakvog testa proizašla je iz malene prosječne pristupne brzine u kućanstvima diljem Republike Hrvatske. Testiranje je provedeno na *Steam* aplikaciji, preko njezine opcije igranja u oblaku. Na kraju se *Steam* platforma pokazala kao dobar odabir, zbog svoje ujednačenosti u korištenju mrežnih resursa.

Treba napomenuti da je svaki scenarij u ovom testiranju proveden preko zadanih opcija. Kao što je vidljivo na slici 7 u poglavlju 5.4, *Steam* nudi svoje opcije o kvaliteti prikazane slike. Ta opcija ostala je na *balansirano* tijekom svih testiranja, također korištenje propusnosti ostavljeno je na automatski tijekom svih testiranja.

Sljedeći podaci izvučeni su od same *Steam* aplikacije. *Steam* daje sažetak svake sesije, konstantno pokazujući podatke kao što su prosječna brzina prijenosa za klijenta i poslužitelja, prosječni *ping*, prosječna propusnost itd. Kako bi se dobili precizniji podaci, korisnik može kreirati snimak koji sadrži detaljne informacije o svakom okviru u zadnjih deset sekundi, kao i statistiku mreže za svaku sekundu u tom periodu. Ovi video zapisi spremaju se na lokalno računalo poslužitelja.

Grafikon 11 prikazuje odnos između sva tri ograničenja i kako su oni utjecali na *ping* za vrijeme igranja. *Ping* se u ovom slučaju definira kao vrijeme putovanja paketa između klijenta i poslužitelja s povratkom.

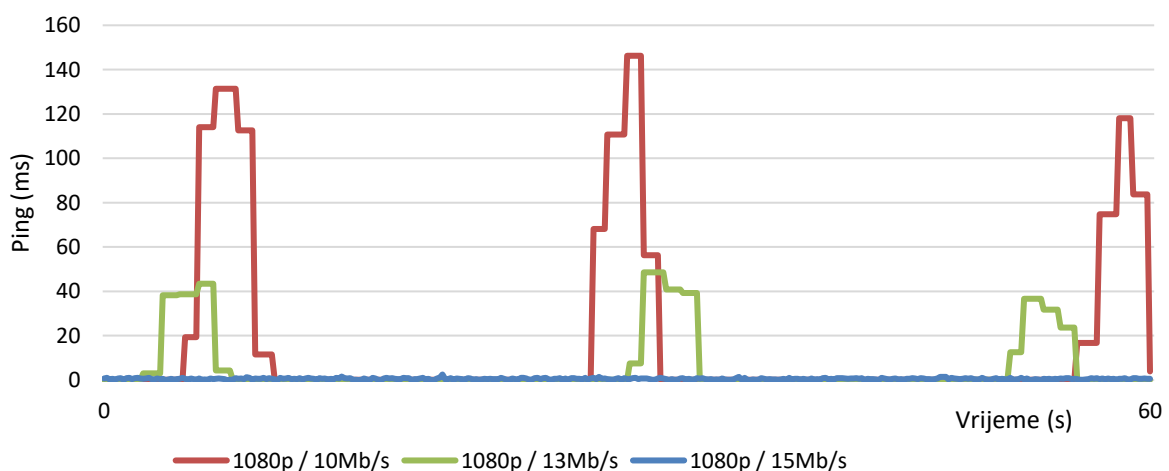
Prvi test proveden je s pristupnom brzinom od 15 Mb/s. Ovaj test pokazao je da brzina od 15 Mb/s predstavlja minimalnu granicu za igranje u oblaku pri 1080p rezoluciji s frekvencijom od šezdeset sličica u sekundi na *Steam* aplikaciji. Iako je grafikonom 1 utvrđeno kako *Steam* konstantno koristi brzinu između 14 i 16 Mb/s, statistika unutar igre nikada nije premašivala 15 Mb/s. To se pokazalo točnim jer tijekom cijele igračke sesije nije dolazilo do nikakvog dodatnog kašnjenja ili gubitka kvalitete slike.



Za sljedeća dva testa mreže su bile ograničene na 13 Mb/s i 10 Mb/s. Grafikon prikazuje kako u oba slučaja dolazi do velikih odstupanja, te kako su oni usko povezani. Naime, *Steam* radi na sljedeći način. Aplikacija pokušava iskoristiti resurse koje su joj potrebne da korisniku prikaže sliku u definiranoj rezoluciji, 1080p u ovom slučaju, no dolazi do „zida“ koji joj kaže da mreža nema potrebne resurse i tu se događaju prikazana odstupanja. *Steam* shvaća da mreža ne može dosegnuti tu točku i automatski smanjuje kvalitetu i rezoluciju videostrujanja.

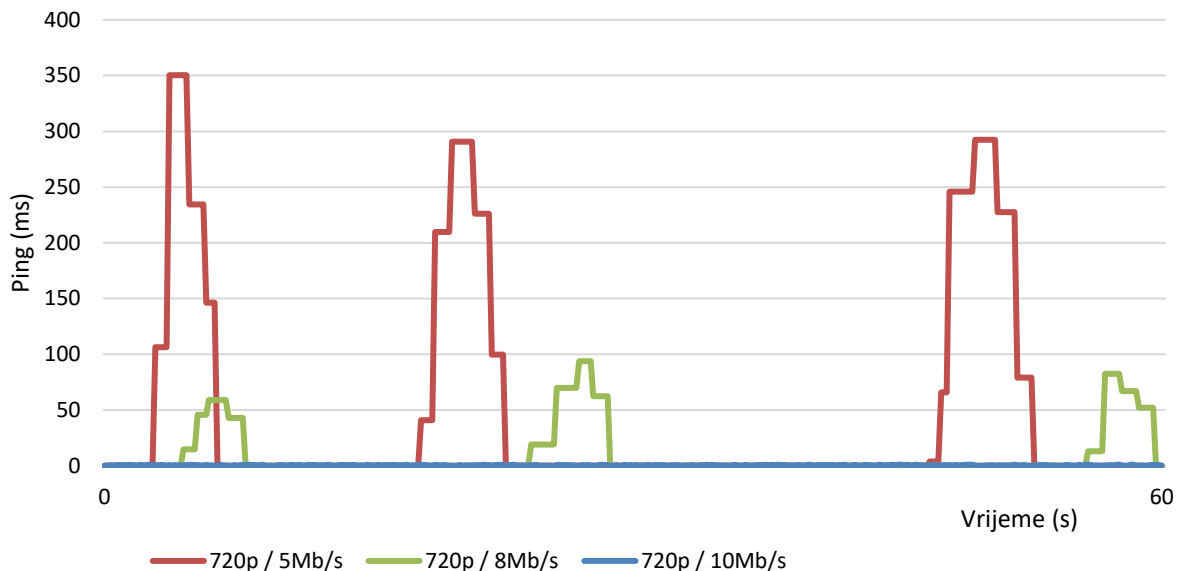
U tom trenutku pada kvalitete, *Steam* počinje iskorištavati puno manje mrežnih resursa, što je i logično jer manja kvaliteta zahtjeva manje resursa, te postepeno povećava kvalitetu jer pokušava strujati 1080p rezoluciju. Nakon otprilike petnaest do trideset sekundi, *Steam* ponovno dolazi do točke ograničenja i cijela radnja se ponavlja. Grafikon prikazuje period od jedne minute, ali ovakva petlja nastavila se tokom cijele igrčke sesije. Iz ovog podatka vidljivo je koliko *Steam* želi konstantnu brzinu od 15 Mb/s jer je razlika između pristupne brzine u prvom i drugom testu je vrlo malena, dok je kvaliteta usluge ozbiljno narušena.

Nadalje, ograničenje od 10 Mb/s pokazuje kako dodatnim smanjenjem mrežne propusnosti problem samo raste, intervali između povećanja *ping-a* slični su prijašnjim, ali su brojevi puno veći. To pokazuje da će dodatno smanjivanje pristupne brzine rezultirati u sve većem porastu *ping-a*, sve dok se ne dosegne točka gdje će pristupna brzina biti premalena za pokretanje usluge ili će se *ping* konstantno povećavati bez mogućnosti vraćanja u normalno stanje.



**Grafikon 11.** Prikaz stanja mreže kroz različita ograničenja u 1080p rezoluciji

Iz Grafikona 12 vidljivi su identični zaključci kao u prijašnjem grafikonu. Razlika je jedino u veličini *ping-a* koji se dogodio u trenucima odstupanja. Pogotovo kod prvog odstupanja kod mrežne propusnosti od 5 Mb/s, gdje se *ping* popeo do 350 milisekundi, što je daleko više u odnosu na prošli grafikon. U svakom slučaju, kako bi korisnik igrao preko *Steam* usluge u oblaku, pri rezoluciji od 720p s frekvencijom od šezdeset sličica u sekundi, potrebno mu je minimalno 10 Mb/s.



**Grafikon 12.** Prikaz stanja mreže kroz različita ograničenja u 720p rezoluciji

Gledajući oba grafikona može se zaključiti kako su pristupne brzine za dovoljnu kvalitetu *Steam* usluge igranja u oblaku vrlo malene u odnosu na preporučene pristupne brzine određenih konkurenata. Ključan razlog tome je udaljenost poslužitelja, prilikom ovih testiranja osobno računalo bilo je kablenski spojeno na istu optičku mrežu kao i računalo korisnika, što je rezultiralo zanemarivim kašnjenjem. U takvom slučaju, kako bi korisnik nesmetano igrao u 1080p rezoluciji preporučuje se minimalna pristupna brzina od 15 Mb/s, a za igranje u 720p rezoluciji 10 Mb/s.

Udaljeno računalo poslužitelja može uvelike povećati minimalnu i preporučenu pristupnu brzinu mreže, kao i samo minimalno kašnjenje koje dolazi proporcijalno s udaljenosti. Upravo zbog toga, sljedeći dio odnosi se na uslugu igranja u oblaku *GeForce Now* koja koristi svoja računala kako bi pokrenula željenu videoigru.

Proces pripreme testiranja sastojao se od preuzimanja *GeForce Now* aplikacije i kupovine jednomjesečne pretplate. *GeForce Now* nudi besplatnu opciju koja kod pokretanja videoigre korisnika stavlja u virtualni red, čekajući prvo slobodno računalo. Kupovinom mjesečne pretplate korisnik postaje prioritetni korisnik i preskače virtualni red svaki puta kada pokreće videoigru.

Svi podaci preuzeti su pomoću mrežne statistike koju *GeForce Now* nudi kao jednu od dodatnih mogućnosti aplikacije. Kako bi se odredila početna točka ograničenja za svaku rezoluciju, provedeno je nekoliko igračkih sesija od par minuta s ciljem praćenja upotrebe mrežne propusnosti. Na temelju tih rezultata definirane su granice testiranja koje su prikazane tablicom 3.

**Tablica 3.** Scenariji za ograničavanje mrežne propusnosti

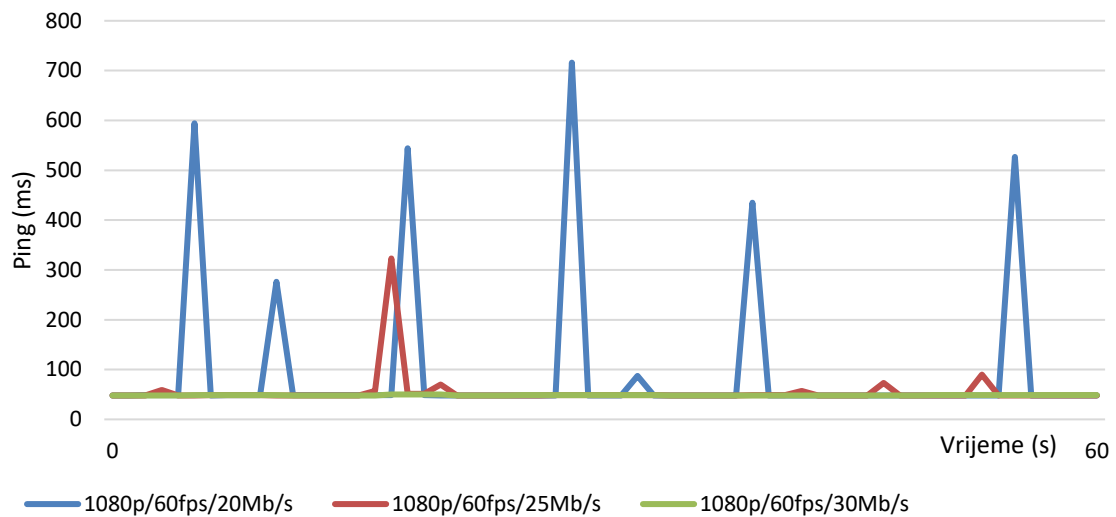
Scenarij	1080p/60fps	1080p/30fps	720p/60fps	720p/30fps
1	20 Mb/s	12 Mb/s	10 Mb/s	5 Mb/s
2	25 Mb/s	15 Mb/s	12 Mb/s	7 Mb/s
3	30 Mb/s	20 Mb/s	15 Mb/s	10 Mb/s

Sljedeći grafikoni (grafikon 13,14,15 i 16) prikazuju kako se mreža ponašala tokom testiranih igračkih sesija. Grafovi su prikazani u vremenskom periodu od jedne minute i prikazuju stanje mreže svake sekunde unutar tog perioda, koji je više nego dovoljan kako bi se utvrdila ispravnost *GeForce Now* usluge. U svim scenarijima vidljivo je kako dolazi do velikih skokova u *ping*-u čim aplikacija nema dovoljno mrežnih resursa za emitiranje zadane rezolucije.

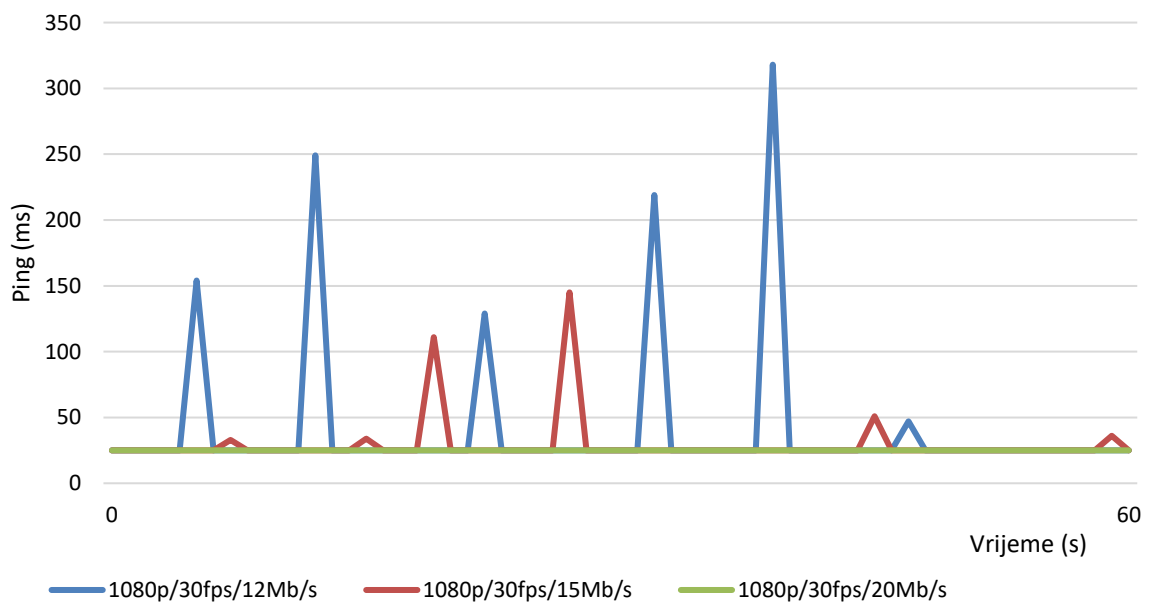
Zanimljivo je pogledati grafikon 13 koji se odnosi na igranje u oblaku s grafičkim postavkama za koje *GeForce Now* preporuča pristupnu brzinu od 25 Mb/s. Vidljivo je kako pri brzini od 25 Mb/s dolazi do nekoliko skokova u *ping*-u tokom igranja. Iako su većinom ti skokovi vrlo maleni i rezultiraju u povećanju *ping*-a za otprilike dvadeset do trideset milisekundi, vidljivo je kako se u jednom trenutku dogodio skok od preko tristo milisekundi, što nikako nije optimalno, dok je aplikacija pri 30 Mb/s radila bez dodatnih skokova.

Treba napomenuti kako je svaki scenarij testiran na istoj lokaciji u videoigri, kako bi uvjeti bili što sličniji. Iz prikazanih grafova može se zaključiti kako *GeForce Now*

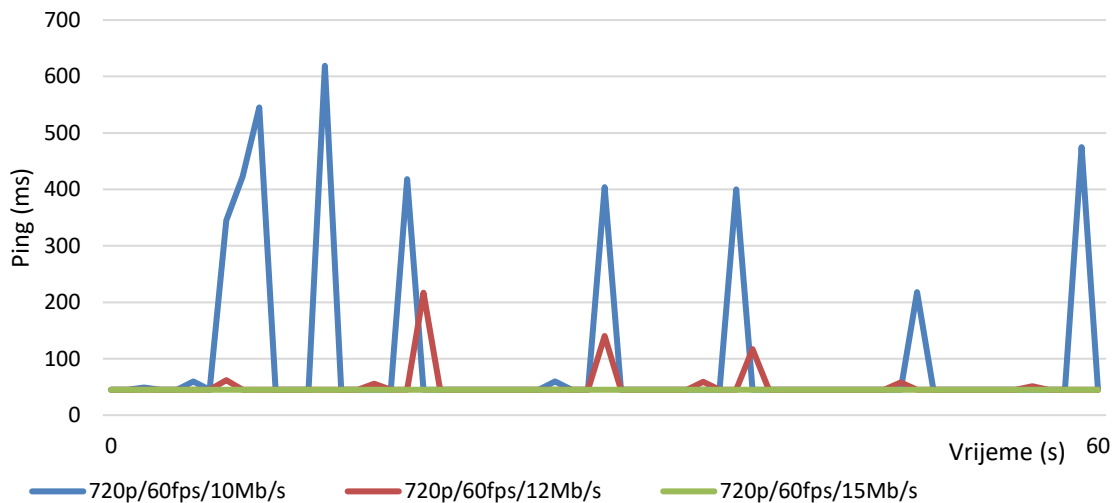
koristi algoritam koji povećava po potrebi maksimalni broj potrebnih bitova koje mreža mora moći prenijeti. Npr. najveći skok u grafikonu 15 iznosi nešto više od šesto milisekundi. Pretpostavka je da je u tom trenutku videoigra stvorila najviše radnji na ekranu te je zahtijevala najveću propusnost, a kad je nije dobila, stvorila je dodatno kašnjenje kako bi se te sve radnje uspjele emitirati na računalo korisnika.



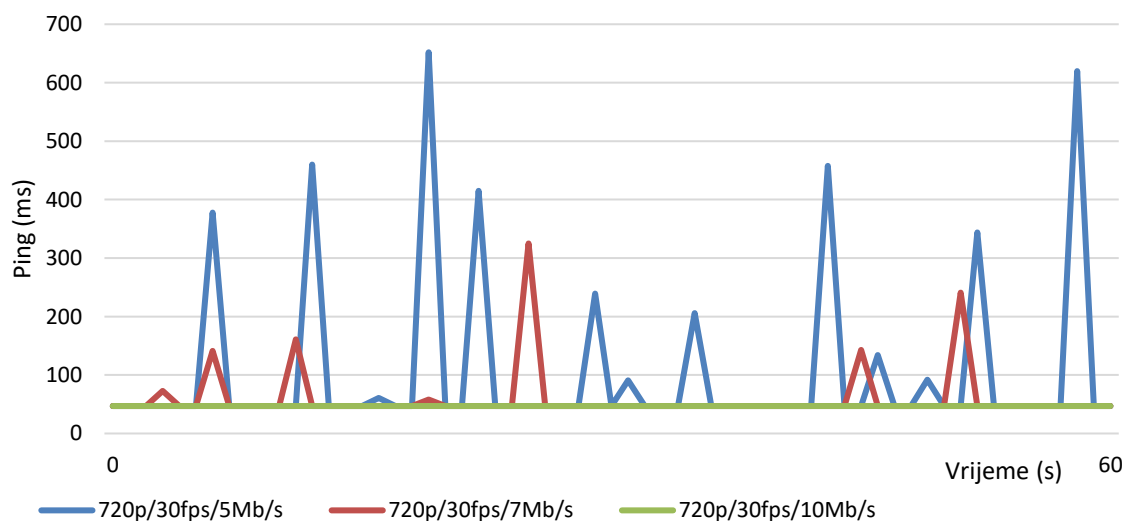
**Grafikon 13.** Podaci za 1080p/60fps uz različita ograničenja



**Grafikon 14.** Podaci za 1080p/30fps uz različita ograničenja



**Grafikon 15.** Podaci za 720p/60fps uz različita ograničenja

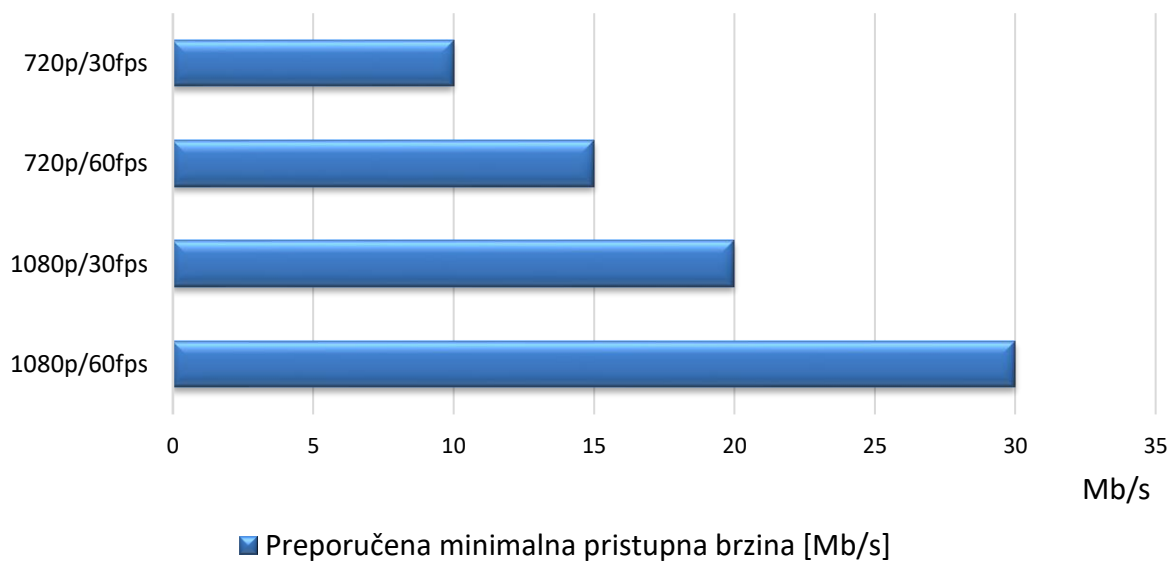


**Grafikon 16.** Podaci za 720p/30fps uz različita ograničenja

Gledajući sve grafikone može se zaključiti kako korisnik može koristiti uslugu igranja u oblaku preko *GeForce Now* aplikacije u drugim i trećim scenarijima (crveni i zeleni scenariji). Iako crveni scenariji donose skokove u *ping*-u tokom cijele igranje sesije, oni ne narušavaju kvalitetu uslugu do točke gdje bi se smatrala ne igrivom. Treći scenarij jednostavno sadrži prevelike skokove u *ping*-u, tako da je poželjno izbjegavati *GeForce Now* uslugu igranja u oblaku ako je maksimalna mrežna propusnost manja od drugog scenarija.

Treba napomenuti da je svaka igračka sesija sadržavala minimalno kašnjenje koje nije moguće izbjeći zbog velike udaljenosti poslužitelja. Minimalno kašnjenje u provedenim testovima iznosilo je ili između dvadeset i trideset milisekundi ili između četrdeset i pedeset milisekundi.

S perspektive korisničkog iskustva treba napomenuti kako je svaki skok u *ping*-u vrlo uočljiv i ozbiljno narušava fluidnost igranja. Iako, skokovi koji ne prelaze sto milisekundi minimalno utječu na vještinu korisnika i prosječan korisnik neće npr. izgubiti život u tom trenutku, oni i dalje predstavljaju prepreku pri igranju u oblaku. Korisničko iskustvo narušeno je kod svakog naglog skoka, te je upravo zbog toga preporučena mrežna propusnost ona koja ne sadrži nikakve skokove. Grafikon 17 prikazuje minimalnu preporučenu pristupnu brzinu za svakog korisnika koji želi koristiti *GeForce Now* uslugu igranja u oblaku.



**Grafikon 17.** Preporučena minimalna pristupna brzina za uslugu *GeForce Now*

## 7. Zaključak

Igranje u oblaku predstavlja područje s kojim prosječni korisnik nema puno iskustva, ako ga uopće ima. Upravo zbog toga javlja se potreba za brojnim istraživanjima kako bi potencijalni klijenti znali u što se upuštaju. Vrednovanje iskustvene kvalitete korisnika je od izuzetne važnosti jer se njome dobiva povratna informacija od samog krajnjeg korisnika, koja može pomoći pružateljima usluge u osiguravanju još bolje kvalitete usluge.

U ovom radu cilj je bio saznati kako različiti čimbenici utječu na korisničko iskustvo prilikom igranja u oblaku. Rad je usredotočen na promjene performansa i rezultata korisnika s mijenjanjem mrežnih uvjeta. Rezultati pokazuju kako različita ograničenja kvalitete usluge utječu na performanse korisnika i njihovo mišljenje. Oni također pokazuju kako je iskustvo jedan od čimbenika s kojim je lagano predvidjeti bolje rezultate korisnika bez obzira na mrežno stanje.

Također, cilj je bio identificirati minimalnu pristupnu brzinu s kojom nije narušeno korisničko iskustvo tijekom igranja u oblaku. Prikazane su dvije usluge igranja u oblaku, te razlika između njih. Zaključeno je kako udaljenost poslužitelja i povezanost preko Internet mreže, utječe na minimalno kašnjenje.

Provedena je analiza umjetnog dodavanja kašnjenja i gubitka paketa u mrežu, te je potvrđena opća hipoteza koja kaže da će s povećanjem kašnjenja, rezultati i zadovoljstvo korisnika padati. Iako se može zaključiti da povećano kašnjenje ima negativan učinak na performanse i iskustvo korisnika, također može se zaključiti da postoji određeni psihološki učinak na korisnike. Korisnici su bili svjesni da je mreža ograničena i time su očekivali lošiji rezultat prije nego što su uopće krenuli s testom, što je moguće dovelo do lošijih rezultata nego što bi oni bili inače. Rezultati su pokazali da kada se kombinira gubitak paketa i dodavanje kašnjenja, iskustvo korisnika ozbiljno pada.

Druga strana istraživanja provedena je ograničavanjem mrežne propusnosti preko različitih scenarija. Prvo je definirano prosječno korištenje mrežnih resursa i na temelju toga napravljeni su scenariji s kojima je mreža testirana. Rezultati su jasno pokazali razliku između *Steam* i *GeForce Now* usluge igranja u oblaku. Dok *Steam*

usluga konstantno koristi jednaku količinu mrežnih resursa, *GeForce Now* koristi samo onoliko koliko je aplikaciji potrebno da emitira trenutno stanje na ekranu.

Razlika između preporučene konfiguracije dviju spomenutih usluga predstavljena je različitim grafikonima, koji pokazuju što se događa kada korisnik nema dovoljno dobru mrežnu propusnost. Zaključeno je kako *GeForce Now* zahtijeva puno veću mrežnu propusnost zbog toga što korisnik pokreće videoigru na udaljenom računalu preko Internet mreže. Minimalne i preporučene mrežne konfiguracije pokazale su se uglavnom točne, ali ipak na kraju definirane su osobne preporučene minimalne mrežne konfiguracije koje su malo veće od službenih.

Svi rezultati prikazani u radu korisni su svim budućim potencijalnim korisnicima usluga igranja u oblaku, igračima koji pokušavaju razumjeti utjecaj kašnjenja na njihovu izvedbu i iskustvo tokom igranja u oblaku. Slična istraživanja moguće je provesti pomoću postupka opisanih u ovom radu, te s time dodatno proučiti različite usluge igranja u oblaku. Također, ovo istraživanje može pomoći drugima koji žele istražiti slične teme u području usluga igranja u oblaku.



## Literatura

- [1] K.D. Foote: A Brief History of Cloud Computing; 2017; Preuzeto sa: <https://www.dataversity.net/brief-history-cloud-computing/> [Pristupljeno:26. Srpanj 2021.]
- [2] History and Vision of Cloud Computing; Preuzeto sa: <https://timesofcloud.com/cloud-tutorial/history-and-vision-of-cloud-computing/> [Pristupljeno: 26. Srpanj 2021.]
- [3] L. Qian, Z. Luo, Y. Du, L. Guo: Cloud Computing an Overview; 2009; Preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/publication/221276709\\_Cloud\\_Computing\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/221276709_Cloud_Computing_An_Overview) [Pristupljeno: 27. Srpanj 2021.]
- [4] R. Ara, M.A. Rahim, S. Roy, K. Uzzal: Cloud Computing: Architecture, Services, Deployment Models, Storage, Benefits and Challenges; Preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/publication/341788106\\_Cloud\\_Computing\\_Architecture\\_Services\\_Deployment\\_Models\\_Storage\\_Benefits\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/341788106_Cloud_Computing_Architecture_Services_Deployment_Models_Storage_Benefits_and_Challenges) [Pristupljeno: 26. Srpanj 2021.]
- [5] Cloud Computing; Preuzeto sa: <https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/NCERT-PUBDOC-2010-03-293.pdf> [Pristupljeno: 27. Srpanj 2021.]
- [6] Q.M. Shallal, M.U. Bokhari: Cloud Computing Service Models: A comparative Study; 2016; Preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/publication/333117926\\_CLOUD\\_COMPUTING\\_SERVICE\\_MODELS\\_A\\_COMPARATIVE\\_STUDY](https://www.researchgate.net/publication/333117926_CLOUD_COMPUTING_SERVICE_MODELS_A_COMPARATIVE_STUDY) [Pristupljeno: 28. Srpanj 2021.]
- [7] Introduction to Cloud Computing Architecture; 2009; Preuzeto sa: <http://www.staroceans.org/e-book/CloudComputing.pdf> [Pristupljeno: 28. Srpanj 2021.]
- [8] M. Raza: Public vs Private vs Hybrid: Cloud Differences Explained; 2020; Preuzeto sa: <https://www.bmc.com/blogs/public-private-hybrid-cloud/> [Pristupljeno:29. Srpanj 2021.]

- [9] What is a Public Cloud; 2020; Preuzeto sa: <https://www.businessnewsdaily.com/4583-public-cloud.html> [Pristupljeno:30. Srpanj 2021.]
- [10] Community Cloud; Preuzeto sa: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/community-cloud> [Pristupljeno: 6. Kolovoz 2021.]
- [11] D. Tucakov: What is Community Cloud? Benefits & Examples with Use Cases; 2020; Preuzeto sa: <https://phoenixnap.com/blog/community-cloud> [Pristupljeno: 6. Kolovoz 2021.]
- [12] Community Cloud; Preuzeto sa: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/community-cloud> [Pristupljeno: 6. Kolovoz 2021.]
- [13] C. Roper: GDC 09: OnLive Introduces the Future of Gaming; 2009; Preuzeto sa: <https://www.ign.com/articles/2009/03/24/gdc-09-onlive-introduces-the-future-of-gaming> [Pristupljeno:7. Kolovoz 2021.]
- [14] R. Shea i dr.: Cloud Gaming: Architecture and Performance; Preuzeto sa: <https://www.sfu.ca/~rws1/papers/Cloud-Gaming-Architecture-and-Performance.pdf> [Pristupljeno:8. Kolovoz 2021.]
- [15] R. Shea: Cloud Gaming Architecture and Performance; Preuzeto sa: <https://slidetodoc.com/cloud-gaming-architecture-and-performance-ryan-shea-and/> [Pristupljeno:8. Kolovoz 2021.]
- [16] M. Claypool, K. Claypool: Latency and Player Actions in Online Games; 2006; Preuzeto sa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.98.330&rep=rep1&type=pdf> [Pristupljeno:10. Kolovoz 2021.]
- [17] R. Dabrowski i dr.: The Effects of Latency on Player Performance and Experience in a Cloud Gaming System; 2014; Preuzeto sa: [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-050514-142618/unrestricted/The\\_Effects\\_of\\_Latency\\_on\\_Player\\_Performance\\_and\\_Experience\\_in\\_a\\_Cloud\\_Gaming\\_System.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-050514-142618/unrestricted/The_Effects_of_Latency_on_Player_Performance_and_Experience_in_a_Cloud_Gaming_System.pdf) [Pristupljeno:10. Kolovoz 2021.]

- [18] V. Clincy i dr.: Subjective Evaluation of Latency and Packet Loss in a Cloud-Based Game; 2013; Preuzeto sa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6614351> [Pristupljeno:10. Kolovoz 2021.]
- [19] JP Mangalindan: Cloud Gaming's History of False Starts and Promising Reboots; 2020; Preuzeto sa: <https://www.polygon.com/features/2020/10/15/21499273/cloud-gaming-history-onlive-stadia-google> [Pristupljeno:7. Kolovoz 2021.]
- [20] J. Roach, K. Parrish: What is Cloud Gaming?: 2021; Preuzeto sa: <https://www.digitaltrends.com/gaming/what-is-cloud-gaming-explained/> [Pristupljeno:7. Kolovoz 2021.]
- [21] Steam Remote Play; Preuzeto sa: <https://help.steampowered.com/en/faqs/view/0689-74B8-92AC-10F2> [pristupljeno:13. Kolovoz 2021.]
- [22] Clumsy 0.2; Preuzeto sa: <https://jagt.github.io/clumsy/> [Pristupljeno:13. Kolovoz 2021.]
- [23] How many Mbps do you need for Steam Link?; Preuzeto sa: <https://boardgamestips.com/faq/how-many-mbps-do-you-need-for-steam-link/> [Pristupljeno:13. Kolovoz 2021.]
- [24] Wireshark; Preuzeto sa: <https://www.wireshark.org/#download> [Pristupljeno:13. Kolovoz 2021.]
- [25] NetLimiter; Preuzeto sa: <https://www.netlimiter.com/> [Pristupljeno:13. Kolovoz 2021.]
- [26] R. Henderson; What is Nvidia GeForce Now, is it Free and What Devices Does it Work With?; 2021; Preuzeto sa: <https://www.pocket-lint.com/games/news/nvidia/131715-what-is-nvidia-geforce-now-and-what-are-the-differences-on-shield-tv-pc-and-mac> [Pristupljeno: 1. Rujan 2021]

## **Popis kratica**

QoE – Quality of Experience

3D – Three Dimensional

IT – Information Technology

EC2 – Elastic Compute

S3 – Simple Storage Service

IaaS – Infrastructure as a Service

PaaS – Platform as a Service

SaaS – Software as a Service

SSL – Secure Sockets Layer

PS Now – PlayStation Now

QoS – Quality of Service

UTP – Unshielded Twisted Pair

Mb/s – Megabits per Second

MOS – Mean Opinion Score

ms – milliseconds

aRPG – Action Role-Playing Game

FPS – Frames per Second

## Popis slika

Slika 1. Povijest računalstva u oblaku .....	4
Slika 2. Arhitektura računalstva u oblaku.....	6
Slika 3. Prednosti i mane različitih modela izvedbe .....	11
Slika 4. Apstraktni prikaz igranja u oblaku .....	15
Slika 5. Prikaz rada <i>Steam Link</i> usluge .....	23
Slika 6. Sučelje Clumsy aplikacije .....	28
Slika 7. Prikaz konfiguracije igranja u oblaku preko <i>Steam</i> platforme .....	32
Slika 8. Mrežna statistika <i>Steam</i> platforme unutar igranja u oblaku .....	33

## Popis tablica

Tablica 1. Tolerancija na kašnjenje u različitim žanrovima .....	19
Tablica 2. Prikaz mrežnih scenarija .....	28
Tablica 3. Scenariji za ograničavanje mrežne propusnosti .....	45

## Popis grafikona

Grafikon 1. Brzina prijenosa pri 1080p rezoluciji bez ograničenja .....	33
Grafikon 2. Brzina prijenosa pri 720p rezoluciji bez ograničenja .....	34
Grafikon 3. <i>GeForce Now</i> prilikom strujanja u 1080p rezoluciji bez ograničenja .....	35
Grafikon 4. Prikaz količine vremena u tjednu koje ispitanici provode igrajući videoigre .....	36
Grafikon 5. Odnos ocjena i rezultata kroz različite scenarije .....	37
Grafikon 6. Scenariji gdje je dodavano kašnjenje .....	38
Grafikon 7. Scenariji gdje je moguć gubitak paketa .....	38
Grafikon 8. Scenariji gdje je dodano kašnjenje i gubitak paketa .....	39
Grafikon 9. Prosjek rezultata prilikom različitih scenarija .....	40
Grafikon 10. Kontrast između iskustva i neiskustva .....	41
Grafikon 11. Prikaz stanja mreže kroz različita ograničenja u 1080p rezoluciji .....	43
Grafikon 12. Prikaz stanja mreže kroz različita ograničenja u 720p rezoluciji .....	44
Grafikon 13. Podaci za 1080p/60fps uz različita ograničenja .....	46
Grafikon 14. Podaci za 1080p/30fps uz različita ograničenja .....	46
Grafikon 15. Podaci za 720p/60fps uz različita ograničenja .....	47
Grafikon 16. Podaci za 720p/30fps uz različita ograničenja .....	47
Grafikon 17. Preporučena minimalna pristupna brzina za uslugu <i>GeForce Now</i> .....	48



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada pod naslovom **UTJECAJ PROMJENE KAŠNJENJA I PROPUSNOSTI NA KORISNIČKO ISKUSTVO IGRANJA U OBLAKU**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 1.9.2021

Student/ica:

Leon Ježaić  
(potpis)