

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

**Testiranje utjecaja parametara
video kodiranja na kvalitetu
iskustva unutar skupa podataka o
igrama temeljenim na računalnom
oblaku**

Dominik Arih

Voditelj: *Mirko Sužnjević*

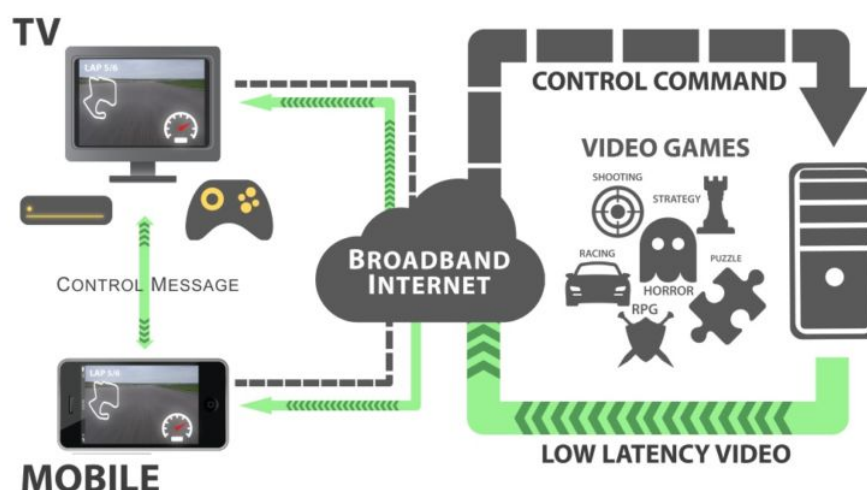
Zagreb, ožujak 2023.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Pozadina i slična istraživanja	4
2.1. Povijesni razvoj	4
2.2. Povezani radovi	5
3. Metodologija	7
3.1. Model testiranja	7
3.2. Ispitanici	8
3.3. Postupak	8
3.3.1. Upute	8
3.3.2. Pred-ispitna anketa	9
3.3.3. Testiranje	9
3.3.4. Poslije-ispitna anketa	10
4. Rezultati i diskusija	11
4.1. Struktura ispitanika	11
4.2. Ukupna kvaliteta uzoraka	12
4.3. Kvaliteta grafike uzoraka	16
4.4. Tečnost scene uzoraka	18
4.5. Želja za igranjem pri postavkama kvalitete uzorka	21
4.6. Važnost testiranih parametara za procjenu kvalitete iskustva	23
5. Zaključak	24
6. Literatura	26
7. Sažetak	28

1. Uvod

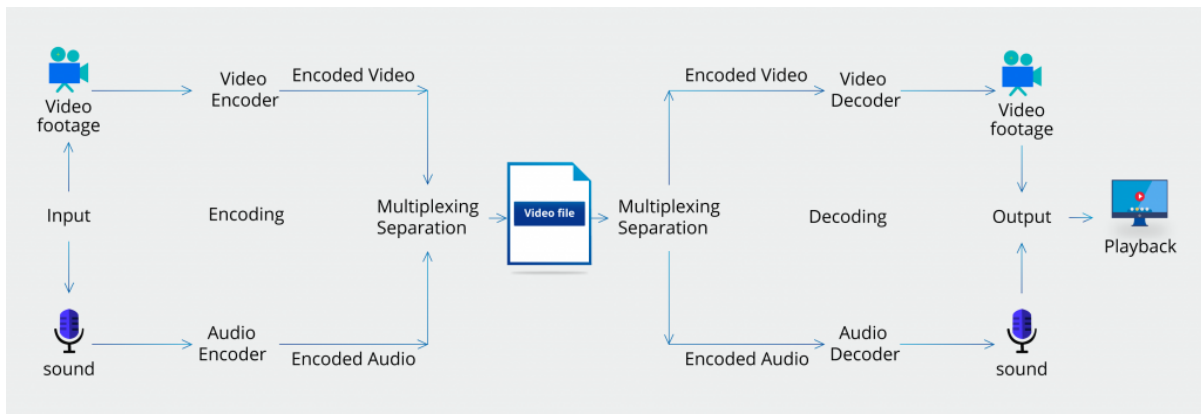
Igre temeljene na računalnom oblaku (engl. *cloud gaming*) kao i "igranje na zahtjev" (engl. *gaming on demand*), predstavljaju novi i brzorastući trend unutar industrije digitalnih igara. Riječ je o konceptu koji igraču omogućuje, umjesto izvođenja računalne igre lokalno na vlastitom računalu, izvođenje na udaljenom poslužitelju preko mreže posredstvom arhitekture klijent-poslužitelj (engl. *client-server architecture*). Glavna prednost takvog načina igranja u odnosu na tradicionalni jest smanjenje potrebe za neizbježnom i učestalom nadogradnjom računala u svrhu poboljšanja performansi za izvođenje sve zahtjevnijih računalnih igara [1]. Igranje u oblaku omogućava iskorištavanje memorijskih, grafičkih i procesnih resursa poslužitelja za prikaz kvalitetnog audio i video izlaza koji ima jednak odziv na unos korisnika kao da se izvodi direktno na lokalnom računalu. Slika 1.1 visokom razinom apstrakcije prikazuje način funkcioniranja igara temeljenih na računalnom oblaku odnosno povezanost sastavnica.



Slika 1.1: Dijagram načina funkcioniranja igara temeljenih na računalnom oblaku. Slika preuzeta iz [2].

Točnije, svaki korisnikov unos rezultira reprodukcijom istog na udaljenom poslužitelju te vraćanjem povratne audio-vizualne informacije korisnikovom računalu. Premda je riječ o kontinuiranom i cikličkom procesu razmjene zahtjeva i odgovora putem mreže, velika se važnost pridaje svojstvima mreže za osiguravanje nesmetane i pravovremene komunikacije klijenta i poslužitelja.

S obzirom na svojstva mreže poput propusnosti (engl. *bandwidth*) i kašnjenja (engl. *latency*), izlazi koje korisnik prima putem "oblaka" razlikovat će se po **parametrima video kodiranja**. Zadatak mreže je predstaviti korisniku optimalnu kombinaciju **stope bitova** (engl. *bitrate*), **sličica po sekundi** (engl. *framerate*) te **rezolucije** (engl. *resolution*) kako korisnik ne bi primijetio značajne nedostatke u kvaliteti izvođenja igre te kako bi njegov unos u realnom vremenu bio popraćen odgovarajućom reakcijom poslužitelja. Mrežni operateri koji pružaju usluge igara temeljenih na računalnom oblaku imaju zadaću osigurati takav međuodnos navedenih parametara, ovisnih o stanju mreže, da on ne narušava **kvalitetu iskustva igranja** (engl. *Quality of Experience* - *QoE*). Dijagram 1.2 prikazuje proces kodiranja i dekodiranja video i audio unosa.



Slika 1.2: Proces kodiranja i dekodiranja video i audio unosa. Slika preuzeta iz [3].

Navedeni problem optimizacije predstavlja jedan od glavnih izazova za pružatelje usluga igara temeljenih na računalnom oblaku te je, u svrhu napretka na tom području, moguće provoditi testiranja koja daju rezultate o utjecaju parametara video kodiranja na kvalitetu iskustva igranja.

Unutar ovog rada bit će opisana metodologija i rezultati provođenja pasivnog QoE testiranja izvedenog koristeći skup podataka o igrama temeljenim na računalnom oblaku (engl. *Cloud Gaming Dataset - CGD*), koji je u vlasništvu Fakulteta Elektrotehnike i Računarstva u Zagrebu. CGD je nastao tako da su prikupljeni podatci od ukupno 600 setova igranja 10 različitih tipova igara s ukupno 12 različitih kombinacija parametara: stopa bitova (5, 10 i 20 Mb/s), sličice po sekundi (30 i 60 fps) i rezolucija (720p i 1080p). Svaka kombinacija ponovljena je 5 puta, a rezultat prikupljanja podataka su videozapisi igranja igara, tragovi mrežnog prometa te zabilješke o unosu korisnika i performansama prijenosa (engl. *streaming performance logs*). Unutar ovog testiranja, koristit će se snimke setova igranja s različitim parametrima kodiranja kako bi ispitanici ocijenili iskustvenu kvalitetu, a rasprava o rezultatima testiranja trebala bi jasnije opisati ovisnost kvalitete iskustva igranja u oblaku o parametrima video kodiranja. Tablica 1.1 prikazuje navedene parametre te njihove vrijednosti korištene unutar skupa podataka o igrama temeljenim na računalnom oblaku.

Parametar video kodiranja	Vrijednosti parametra
Stopa bitova (Mb/s)	5, 10, 20
Sličice po sekundi (fps)	30, 60
Rezolucija	720p, 1080p

Tablica 1.1: Korišteni parametri video kodiranja i njihove vrijednosti.

2. Pozadina i slična istraživanja

2.1. Povijesni razvoj

Začetci tehnologije igranja u računalnom oblaku datiraju još iz 2000. godine kada tvrtka **G-cluster** predstavlja koncept pokretanja računalnih igara na udaljenim serverima. Model je zasnovan na pružateljima usluga tipa **video na zahtjev** (engl. *Video on demand - VOD*) te uključuje pružatelje softvera za međusloj. Iako je spomenuti model u potpunosti utemeljen tek 2005. godine, nakon niza prilagodbi tržištu, puni zamah dobiva tek 2010. i 2012. godine kada francuske kompanije SFR i Orange počinju pružati opisane usluge igranja svojim korisnicima.

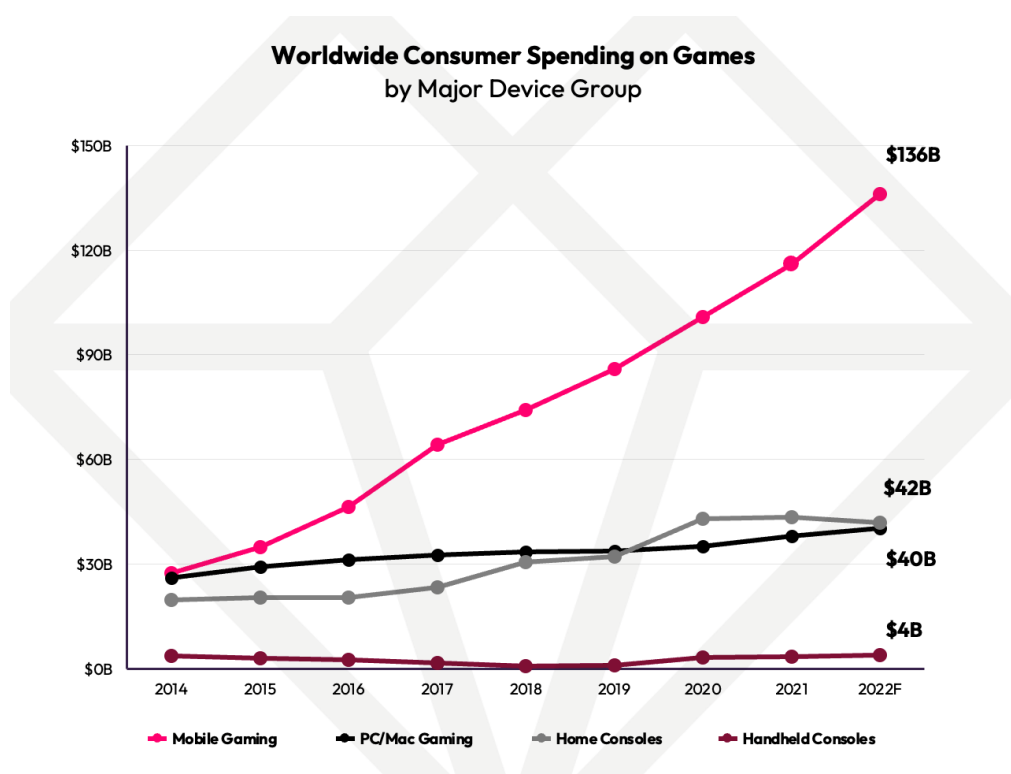
Godine 2009. i 2010. predstavljene su platforme **OnLive** i **Gaikai**. To je razdoblje, s obzirom na napredak u području kompresije podataka i mogućnosti pametnih telefona, smatrano pravodobnim za ostvarivanje punog potencijala igara temeljenih na računalnom oblaku. Međutim, OnLive u takvom svojstvu nije bio profitabilan sve do 2012. godine, a Gaikai svoj potencijal ostvaruje tek u obliku tehnologije korištene kao temelj za PlayStation Now [4].

Od 2012. godine pa sve do danas, dolazi do oživljavanja platformi OnLive i Gaikai kao i razvoja novih usluga računalnog oblaka. U to vrijeme, Nvidia predstavlja svoju uslugu **Nvidia Grid** (danas poznatu kao **GeForce Now**) čiji je tadašnji nedostatak nemogućnost kupnje igara putem oblaka već samo putem osobnih računala, a temelji se na protokolu RTP (engl. *Real-time Transport Protocol*) koji je široko rasprostranjen među aplikacijama koje komuniciraju u stvarnom vremenu [5]. Važno je spomenuti uslugu **Shadow** francuske kompanije Blade, koja od 2017. godine omogućava iznajmljivanje udaljene instance Windowsa 10 u podatkovnom centru. Google 2019. godine pokreće uslugu igranja u računalnom oblaku pod nazivom **Stadia** koja sadrži vlastitu trgovinu za kupnju igara [6], a Amazon 2020. godine predstavlja uslugu imena **Luna** koja sadrži vlastite igre te neke igre od Ubisofta. Danas Nintendo u okviru Nintendo Switcha koristi tehnologiju računalnog oblaka za igre koje su prezahtjevne za klasičan način pokretanja s obzirom na hardverske mogućnosti uređaja.

2.2. Povezani radovi

Shea et al. [7] detaljno opisuju arhitekturu i svojstva igranja u računalnom oblaku stavljajući posebni naglasak na jednu od trenutačno najpopularnijih platformi – **OnLive**. Analizom podataka prikupljenih korištenjem različitih mrežnih konfiguracija, ustanovljen je golemi potencijal za prikazivanje kompleksnijih 3D sadržaja na slabijim uređajima (poput mobilnih), ali se navodi i potreba za daljnjim istraživanjem utjecaja nepovoljnih uvjeta mreže, poput gubitka paketa, na kvalitetu usluge.

S obzirom na istaknutu popularnost industrije mobilnih igara te prethodno spomenute potencijale igranja u računalnom oblaku, neizbježno je pronaći poveznicu između takva dva kontinuirano rastuća trenda. Cai et. al [8] unutar svojeg rada eksplicitno definiraju pojam mobilnog računarstva kao i mobilnog igranja u oblaku (engl. *mobile cloud gaming* - **MCG**). Unutar modela MCG predlaže se radni okvir za uspostavu dinamične integracije oblaka, prožimajućeg iskustva igranja (engl. *pervasive gaming*) te višekorisničkog i višeplatformskog načina igranja. Na Slici 2.1 je, prema podacima iz 2022. godine, prikazana razlika potrošnje igrača mobilnih igara u odnosu na ostale platforme čime motivacija za razvojem mobilnog igranja u oblaku postaje jasnija.



Slika 2.1: Razlika potrošnje igrača diljem svijeta na različitim platformama izražena u dolarima. Slika preuzeta iz [9].

Govoreći o proučavanju kvalitete usluge, Chen et al. [1] donose detaljnu usporedbu dvaju pružatelja usluge igara temeljenih na računalnom oblaku. Prema rezultatima, platforma OnLive, u odnosu na platformu StreamMyGame, pokazuje znatno bolji odziv, propusnost te bolju optimiziranost parametara video kodiranja. Takvi podatci pokazuju važnost daljnjeg istraživanja kvalitete usluge i kvalitete iskustva kako bi navedene i slične platforme mogle preciznije usmjeravati razvoj svoje tehnologije te tako i razvoj čitavog modela igranja u računalom oblaku.

Na posljepku, kvalitetom iskustva unutar igranja u računalnom oblaku bavili su se i Jarschel et. al [10]. Provođenjem subjektivnih QoE testova, pokazan je važan utjecaj međuodnosa parametara kvalitete usluge (engl. *Quality of Service* - *QoS*) i vrste igre na doživljaje ispitanika. Kod igara koje se oslanjaju na impresivnije vizualne sadržaje više nego na samu mehaniku, zapažena je znatno veća važnost kvalitete rezolucije u odnosu na ostale mjerene parametre.

3. Metodologija

Kako bi rezultati testiranja bili pogodni za obradu i evaluaciju, bilo je potrebno odabrati odgovarajuće metode i model provođenja pasivnog i subjektivnog testiranja. Većina predloženih metoda zasniva se na tehnikama evaluacije kvalitete iskustva raspravljenim i standardiziranim od strane **Sektora telekomunikacijske standardizacije (ITU-T)**. Bez obzira na to što provođenje ovog istraživanja ne uključuje interaktivni dio procjene promatranih parametara (igranje igara), testiranje je u cijelosti bilo potrebno provesti unutar laboratorijskog okruženja. Takav pristup pruža kontrolirane uvjete (smanjenje pozadinskih ometanja i osiguranje kvalitete video usluge) te tako pridonosi smanjenju vanjskih utjecaja na procjene ispitanika. Ciljano, rezultati istraživanja objedinili su povratne informacije ispitanika o prikazanim uzorcima kao i o kvaliteti testiranja kroz skalarne vrijednosti prikupljene putem ankete te verbalne iskaze prikupljene kroz direktnu komunikaciju s ispitanicima.

Odabrana je **kvantitativna metoda procjene** koja uključuje provođenje ankete u obliku Google obrasca nad ispitanicima. Takav način evaluacije testnih primjeraka dokazano zadržava dosljednost i ujednačenost prikupljenih podataka [11].

3.1. Model testiranja

Pretpostavljen je postojeći model **GEQ** (engl. *Game experience questionnaire model*), no ovo testiranje, s obzirom na izostanak aktivnog dijela, obuhvaća samo *post-game* modul. Stav igrača prema kvaliteti igre, u kontekstu primijenjenih parametara video kodiranja, zabilježen je pomoću ljestvice s određenim brojem stupnjeva, a ljestvica je bila dostupna za svaku od predviđenih stavki koje opisuju kvalitetu uzorka. Takva metoda testiranja poznatija je kao **ACR** (engl. *Absolute Category Rating*), ali se u ovom slučaju ne koristi tradicionalna ljestvica od 5 stupnjeva za prosječne ocjene mišljenja ispitanika (engl. *mean opinion score* - **MOS**) već ljestvica **ACR (EC-ACR)**, predložena od strane ITU-Tja, koja sadrži 7 stupnjeva. Razlog takvom širem rasponu ocjena je veća diskriminativna mogućnost uz izbjegavanje učestalog i pretjeranog oda-

bira krajnjih kategorija ljestvice [11]. Cjelokupni postupak testiranja sastojao se od ukupno 4 cjeline koje će biti detaljnije opisane u ostatku rada.

3.2. Ispitanici

Prisustvovalo je ukupno 15 ispitanika, što je omogućilo dovoljno rezultata za provođenje statističke analize. Postupak (3.3) opisuje model testiranja za skupinu od 5 sudionika te se ponovio za 3 takve skupine. Poželjno je da skupina sadrži osobe suprotnog spola u idealnom omjeru 60:40, međutim struktura ispitanika ovog testiranja sačinjena je od 10 muških i 5 ženskih subjekata što i dalje ne predstavlja preveliko odstupanje od navedenog omjera. Među ispitanicima je bilo subjekata i sa i bez iskustva u igranju digitalnih igara. Upućenost u tehnološke zahtjeve igara nije bila potrebna. Sudionici nisu smjeli imati izražene poteškoće s vidom (daltonizam) kako bi procjena razlika između parametara bila što preciznija. Iako se za istraživanja vezana uz igre temeljene na računalnom oblaku predlažu još i uvjeti o naprednoj razini poznavanja stranih jezika kao i izostanku neuroloških bolesti i senzorno-motorne disfunkcije, te informacije nisu bile uvrštene u anketu o suglasnosti ispitanika zbog izostanka aktivnog dijela testiranja. Konačni podatci o ispitanicima, nad kojima je provedeno testiranje, prikupljeni su pomoću pred-ispitne ankete (engl. *Pre-test Questionnaire*), a prikazani unutar Poglavlja 4.1.

3.3. Postupak

3.3.1. Upute

U početnoj fazi testiranja, ispitanicima su bila objašnjena pravila korištenja laboratorijskog okruženja kao i pravila sudjelovanja na testiranju. Napravljen je uvod u općenite pojmove igara temeljenih na računalnom oblaku i kvalitete iskustva te vrstu i način testiranja. Ukratko su objašnjene razlike u promatranim parametrima video kodiranja te razlike u odabranim tipovima snimljenih igara (uzoraka). Važno je napomenuti da ispitanici tijekom testiranja nisu imali uvid u parametre kojima je kodiran promatrani uzorak niti se od njih nije očekivalo da pretpostavljaju ili pogađaju parametre. Dodatno, ispitanicima je prikazan neki od testnih primjeraka bez aludiranja na bolju ili lošiju kvalitetu uzorka u odnosu na ostale zato što se ocjene ispitanika temelje na subjektivnim sudovima, a ne na prethodno okarakteriziranim uzorcima [11].

Ispitanicima je dan uvid u trajanje svake etape i čitave procedure te su pitani za mišljenje o smislenosti takvog vremenskog okvira.

3.3.2. Pred-ispitna anketa

Ispitanicima je predstavljen Google obrazac u koji su unijeli sljedeće informacije:

1. **Ime i prezime,**
2. **Godina rođenja,**
3. **Spol,**
4. **Prijašnje iskustvo igranja digitalnih igara te**
5. **Procjena vlastite upućenosti u tehnološke zahtjeve digitalnih igara.**

3.3.3. Testiranje

S obzirom na to da je posebnost korištenog skupa podataka upravo raznovrsnost kombinacija parametara video kodiranja, korištene su sve kombinacije primijenjene na 4 značajne vrste igara, odabrane prema odnosu razine grafičkih detalja naspram intenziteta:

Igra	Vrsta	Opis	Grafički detalji	Intenzitet
Borderlands 2	FPS/RPG	Sci-Fi igra u prvom lica s RPG elementima	Visoko	Visoko
Dirt 5	Utrke	Arkadna trkaća igra	Nisko	Visoko
Dota 2	MOBA	Borbena arena za više umreženih igrača	Visoko	Nisko
Ring of Pain	Kartaška igra	Kartaška igra s elementima fantastije	Nisko	Nisko

Tablica 3.1: Popis i klasifikacija igara korištenih za testiranje.

Vrijeme trajanja pojedinačne snimke iznosilo je između 15 i 20 sekundi, a procjena ispitanika trajala je između 25 i 30 sekundi. Ukupno vrijeme trajanja evaluacije jedne igre iznosilo je oko 10 minuta. Testiranje se odvijalo u dva dijela te su unutar svakog od njih prikazana 24 uzorka. Između dijelova, ispitanicima je ponuđena kratkotrajna pauza u trajanju do 10 minuta.

S obzirom na veličinu grupe sudionika, bilo je zamišljeno je da svi sudionici testne primjerke gledaju i ocjenjuju istovremeno. Redoslijed prikazanih primjeraka bio je u potpunosti nasumičan te nije ovisio o tipu igre kao ni o kombinacijama parametara. Ispitanici za vrijeme trajanja etape nisu smjeli međusobno razmjenjivati informacije niti na glas komentirati vlastite procjene kako se ne bi utjecalo na subjektivnost evaluacije.

Za svaki od primjeraka ispitanici su trebali, pomoću ljestvice od 7 vrijednosti (pri čemu su krajnje vrijednosti „loše“ i „odlično“ te za posljednje pitanje „nikako“ i „u potpunosti“), dati ocjenu u 4 kategorije:

1. **Kako biste procijenili ukupnu kvalitetu prikazanog primjerka?**
2. **Kako biste procijenili kvalitetu grafičkih detalja?**
3. **Kako biste procijenili tečnost scene (mogući zakašnjeni prikaz unosa)?**
4. **Biste li mogli neometano igrati igru pri ovakvim postavkama kvalitete?**

3.3.4. Poslije-ispitna anketa

Poslije-ispitna anketa (engl. *Post-test Questionnaire*) sadržavala je samo jedno pitanje također s ljestvicom od 7 vrijednosti:

- **Koliko važnima smatrate testirane parametre za procjenu kvalitete igre?**

Smisao pitanja leži u svijesti ispitanika o načinu na koji mijenjanje kombinacija parametara video kodiranja utječe na ukupni doživljaj i kvalitetu iskustva igranja igre.

Po završetku poslije-ispitne ankete, sudionici su ponovno pitani za mišljenje o valjanosti vremenskog okvira testiranja te su im ponuđeni odgovori na bilo kakva pitanja, prijedloge ili zamjerke. Ispitanicima je objavljen završetak testiranja te su obaviješteni o mogućnosti napuštanja laboratorija nakon cjelokupnog testiranja koje je u prosjeku trajalo oko 60 minuta.

4. Rezultati i diskusija

4.1. Struktura ispitanika

U konačnici, testiranju je pristupilo 15 subjekata (10 muških i 5 ženskih). Svi su ispitanici, bez ikakvih problema, odradili testiranje u potpunosti dajući odgovore na ukupno 192 pitanja vezanih za 48 testnih uzoraka. Svi su subjekti, u trenutku provođenja testiranja, bili studenti Sveučilišta u Zagrebu te medijan godina iznosi 22, pri čemu je najstariji subjekt imao 24 godine, a najmlađi 19.

Pred-ispitna anketa sadržavala je pitanja o prijašnjem iskustvu igranja digitalnih igara te o procjeni vlastite upućenosti u tehnološke zahtjeve digitalnih igara. Za odgovore na pitanja korištene su 3 kategorije: nikad, povremeno i često odnosno loše, srednje i odlično. Ispitanicima je dodatno objašnjeno kako se peto pitanje pred-ispitne ankete (3.3.2) odnosi na njihovo razumijevanje potrebe za kompatibilnošću hardverskih i softverskih komponenata za postizanje visoko-kvalitetne digitalne scene. Točnije, za slučaj ovog testiranja, pitanje je usmjereno prema upućenosti u korištene parametre video kodiranja (sličice po sekundi, stopa bitova i rezolucija). Pomoću takvih dodatnih informacija, obradom rezultata moguće je utvrditi razlikuju li se dojmovi iskusnijih i informiranijih korisnika od onih koji se po prvi put susreću s problematikom kvalitete iskustva, no ti podatci nisu prikazani kao rezultat ovog rada. Otprilike polovica ispitanika ne igra digitalne igre uopće ili barem ne na dnevnoj bazi dok približno tri četvrtine njih ima ili srednje ili odlično poznavanje tehnoloških zahtjeva digitalnih igara. Unutar Tablice 4.1 prikazana je razdioba svih podataka o strukturi ispitanika i dodatnih informacija prikupljenih iz pred-ispitne ankete.

Kategorije	Vrijednosti		
Broj ispitanika	15		
Medijan godina	22 (19-24)		
Spol	Muški 10 (66,7%)	Ženski 5 (33,3%)	
Prijašnje iskustvo igranja digitalnih igara	Nikad 8 (53,3%)	Povremeno 4 (26,7%)	Često 3 (20%)
Procjena vlastite upućenosti u tehnološke zahtjeve digitalnih igara	Loše 4 (26,7%)	Srednje 7 (46,7%)	Odlično 4 (26,7%)

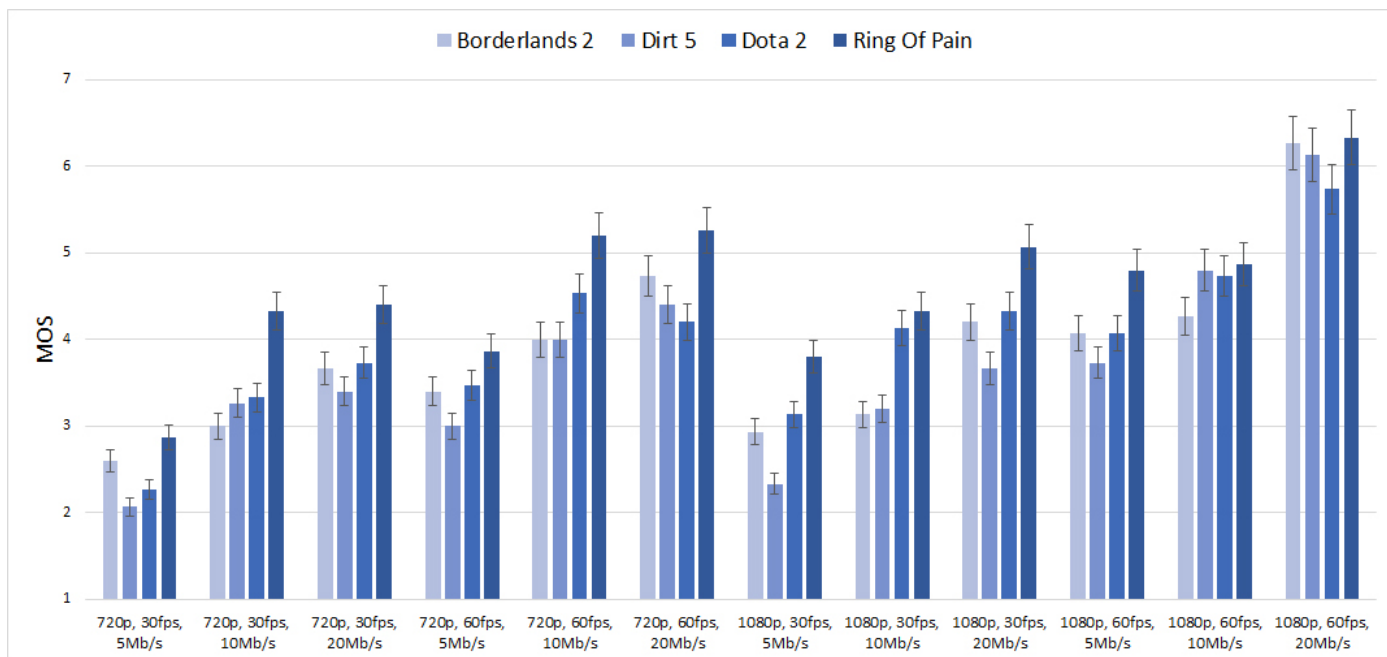
Tablica 4.1: Informacije o strukturi ispitanika prikupljene pred-ispitnom anketom.

4.2. Ukupna kvaliteta uzoraka

Kao prvo pitanje za svaki promatrani uzorak, ispitanici su trebali procijeniti ukupnu kvalitetu promatranog videozapisa prije procjene komponenata koje tu kvalitetu čine. Ponuđena im je ljestvica vrijednosti od 1 do 7 (od "loše" prema "odlično"), a rezultati su prikazani u Grafu 4.1 kao 95%-tni intervali pouzdanosti (engl. *confidence intervals* - **CI**).

Ukupna kvaliteta za igru Ring of Pain uvijek je viša od svih ostalih igara za svaku kombinaciju parametara. Razlog tome je možda kartaški tip igre s niskom razinom zahtjeva za grafičkim detaljima te niskim intenzitetom (potrebom za tečnošću scene). Ako napravimo usporedbu s drugom krajnošću, gdje je potreba za tečnošću i kvalitetom grafičkih detalja veća, jasno je da se Borderlands 2 procjenjuje lošijom za sve kombinacije vrijednosti parametara. Ipak, zanimljivo je da rezultati procjene igre Borderlands 2 nisu najniži od korištenih igara. Čak je za 6 kombinacija parametara uvjerljivo najniže ocjene poprimila igra Dirt 5 koja je okarakterizirana visokim intenzitetom.

Promatrajući graf moguće je zamijetiti zanimljivi trend koji je prisutan pri kombinacijama parametara 720p, 60 fps, 20 Mb/s i 1080p, 60 fps i 20 Mpb/s. Do takvih uzoraka, ocjene za igru Dota 2 uglavnom su druge po visini, ali u tim trenutcima postižu uvjerljivo najniže prosjeke ocjena u odnosu na ostale igre. Ono što je jedino zajedničko tim kombinacijama u odnosu na sve ostale jest to da obje sadrže istovremeno iznos od 60 sličica po sekundi s 20 megabita u sekundi. Ako uspoređujemo s drugim igrama, one za te parametre dosežu lokalni i globalni maksimum prosjeka



Graf 4.1: Prosječne ocjene mišljenja ispitanika o ukupnoj kvaliteti promatranih uzoraka (95%-tni intervali pouzdanosti).

ocjena dok je za Dotu 2 dojam kvalitete čak i lošiji nego za prethodnu kombinaciju s nižom stopom bitova. Ova bi informacija mogla biti od velikog značaja pružateljima usluga igara temeljenih na računalnom oblaku zato što navedeni parametri, bez obzira na rezoluciju, očigledno poprilično utječu na kvalitetu iskustva za igre sličnog tipa kao Dota 2. Takav se utjecaj ne treba nužno smatrati lošim u smislu pada kvalitete, već bi se mogao interpretirati kao ne dostizanje očekivanog potencijala za rast kvalitete usporedno s drugim uzorcima.

Još jedan zanimljivi trend koji možemo uočiti je nagli pad kvalitete za sve kombinacije koje sadrže stopu bitova od 5 Mb/s. Ocjene kvalitete za kombinacije rastu s povećanjem stope bitova, a pri povratku na najnižu vrijednost uočava se strmi pad. Ako obratimo pažnju samo na broj sličica po sekundi, primjećuje se da su za više vrijednosti parametra i vidljivo više ocjene testnih uzoraka. Na prvi pogled možemo uočiti kako postoji jasna granica između primjeraka snimanih na rezoluciji od 720p i onih na rezoluciji od 1080p. Za više vrijednosti rezolucije graf pokazuje i bolje rezultate. Razlika nije toliko primjetna na samom prijelazu za kombinaciju 1080p, 30 fps i 5 Mb/s. Razlog je to što se u tom trenutku dešava i pad ostalih parametara, a kao što je već ranije spomenuto većinski uzrok tome je upravo niska stopa bitova. S povećanjem stope bitova i rastom broja sličica po sekundi ocjene do kraja grafa dosežu veće vrijednosti nego za nižu rezoluciju, a maksimum za ovo testiranje dosegnut je pri

krajnjim iznosima parametara 1080p, 60 fps i 20 Mb/s. Naravno potpuna suprotnost, odnosno minimum, vidljiv je u početnim postavkama koje sadrže najniže vrijednosti za sve parametre.

Provedbom univarijatne analize varijance (**ANOVA**) (Tablica 4.2), uočen je statistički značajan efekt rezolucije ($F=5,150$; $p=0,028$), broja sličica po sekundi ($F=21,192$; $p<0,001$) te stope bitova ($F=12,505$; $p<0,001$) na ukupnu kvalitetu uzorka, koji, općenito govoreći, pokazuje kako porastom vrijednosti ovih parametara raste i vrijednost procjene ukupne kvalitete uzorka.

Kvaliteta	Parametri	F	p	
Ukupno	Rezolucija	5,150	0,028	*
	Sličice po sekundi	21,192	<0,001	***
	Stopa bitova	12,505	<0,001	***
Tečnost	Rezolucija	1,1450	0,290	
	Sličice po sekundi	83,381	<0,001	***
	Stopa bitova	4,928	0,012	*
Grafika	Rezolucija	12,935	<0,001	***
	Sličice po sekundi	7,517	<0,01	**
	Stopa bitova	12,669	<0,001	***

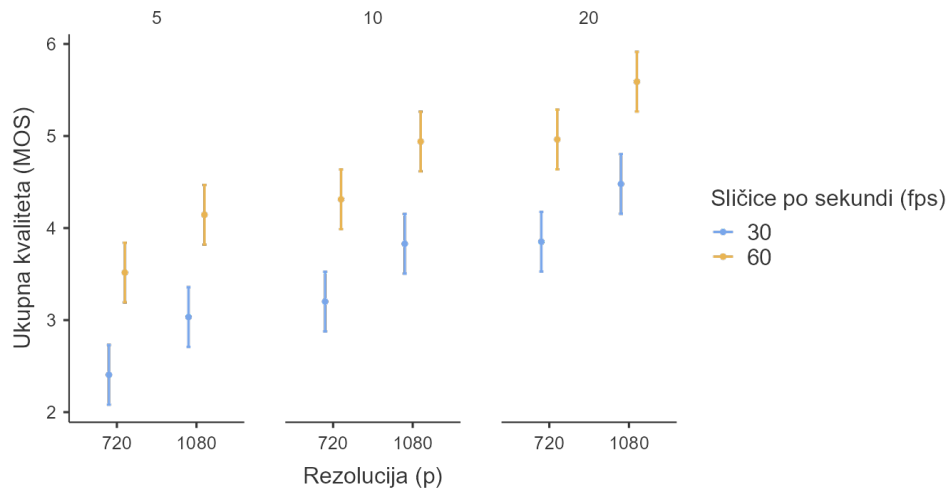
*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$.

Tablica 4.2: Rezultati univarijatne analize varijance s prikazanim F-omjerima i odgovarajućim p -vrijednostima. Ispod tablice su prikazane napomene za određivanje razine značajnosti.

Prediktor	Procjena	SE	t	p
Rezolucija:				
1080 - 720	0,628	0,144	4,37	<0,001
Sličice po sekundi:				
60 - 30	1,111	0,144	7,73	<0,001
Stopa bitova:				
10 - 5	0,796	0,176	4,52	<0,001
20 - 5	1,446	0,176	8,22	<0,001

Tablica 4.3: Rezultati linearne regresije za ukupnu kvalitetu s parametrima video kodiranja kao prediktorima.

To mogu potvrditi i rezultati linearne regresije prikazani u Tablici 4.3 i na Grafu 4.2, implicirajući da su rezolucija, broj sličica po sekundi i stopa bitova dobri prediktori ukupne kvalitete. Stoga se, veći rezultat na varijabli ukupne kvalitete ostvaruje za rezoluciju od 1080p u odnosu na 720p ($t=4,37$; $p<0,001$), 60 fps u odnosu na 30 fps ($t=7,73$; $p<0,001$) te 20 Mb/s u odnosu na preostale dvije razine te varijable ($t=4,52$; $p<0,001$; $t=8,22$; $p<0,001$).



Graf 4.2: Grafički prikaz rezultata linearne regresije za ukupnu kvalitetu.

Promatranjem međusobnog odnosa tri tipa kvalitete korištenih u ovom istraživanju, unutar Tablice 4.4, primjećuje se visoka pozitivna korelacija, dobivena kao **Spearmanov rho** (koeficijent korelacije), između ukupne kvalitete i tečnosti scene ($r_s=0,884$; $p<0,001$) te ukupne kvalitete i kvalitete grafike uzoraka ($r_s=0,924$; $p<0,001$). Ovaj podatak predstavlja dokaz porasta razine jedne varijable za razine druge varijable i obratno, a s obzirom na to da je koeficijent povezanosti veći za kombinaciju ukupne kvalitete i kvalitete grafičkih detalja, nameće se zaključak kako na ukupnu kvalitetu nešto veći utjecaj ima grafika u usporedbi s tečnošću scene.

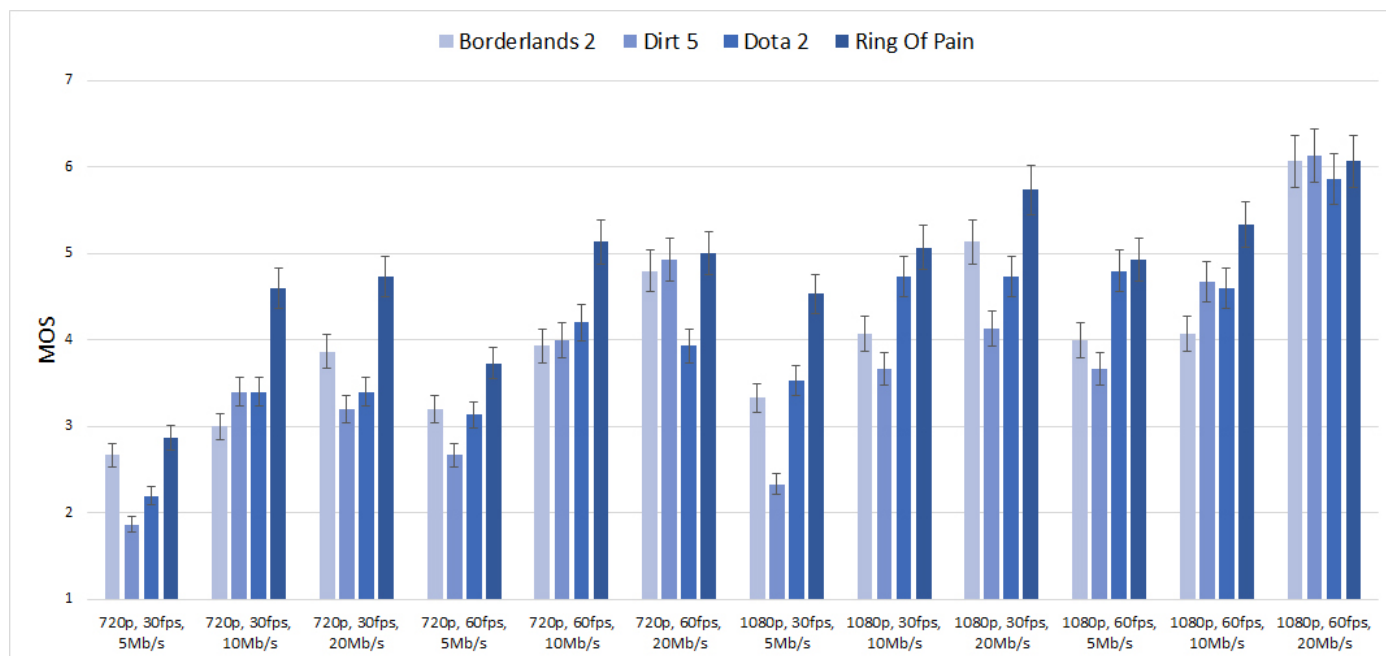
Kvalitete	r_s	p
Ukupno & Tečnost	0,884	<0,001 ***
Ukupno & Grafika	0,924	<0,001 ***
Tečnost & Grafika	0,714	<0,001 ***

*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$.

Tablica 4.4: Prikaz Spearmanovih rho koeficijenata ukupne kvalitete u korelaciji s grafikom i tečnošću scene.

4.3. Kvaliteta grafike uzoraka

Na isti način kao i za pitanje o ukupnoj kvaliteti, obrađeni su prikupljeni podatci vezani za kvalitetu grafike uzoraka i prikazani su unutar Grafa 4.3.



Graf 4.3: Prosječne ocjene mišljenja ispitanika o kvaliteti grafike promatranih uzoraka (95%-tni intervali pouzdanosti).

Na prvi se pogled ne vidi toliko jasna podjela grafa na dva dijela kao u Grafu 4.1 i to nam govori da je promatranje razlika u kvaliteti grafike, u odnosu na ukupnu kvalitetu i tečnost scene, mnogo diskretniji problem i teže je uočiti velike razlike za male promjene među parametrima. Ponovno, za sve kombinacije parametara video kodiranja, igra Ring of Pain ostvaruje uvjerljivo najviši prosjek ocjena ispitanika koji raste proporcionalno s povećanjem rezolucije, stope bitova i broja sličica po sekundi. Ipak, možemo primijetiti da nema toliko značajnih odskakanja u prosjecima za bliske kombinacije parametara već su ocjene konstantno izrazito visoke. Također, i dalje je vidljiv značajan utjecaj stope bitova na procjenu kvalitete pri čemu sve igre za 5 Mb/s poprimaju vrlo niske rezultate, a pri tako niskoj stopi bitova dojam kvalitete raste jedino s povećanjem rezolucije i broja sličica po sekundi.

Potrebno je posebnu pozornost pridati igrama koje imaju visoke zahtjeve za kvalitetom grafičkih detalja (Borderlands 2 i Dota 2). Za igru Borderlands 2 moguće je uočiti pravilan uzorak postepenog rasta prosjeka ocjena uz padove pri snižavanju stope bitova, a Dota 2 ipak bilježi dvije zanimljive anomalije. Za kombinacije 720p, 60 fps,

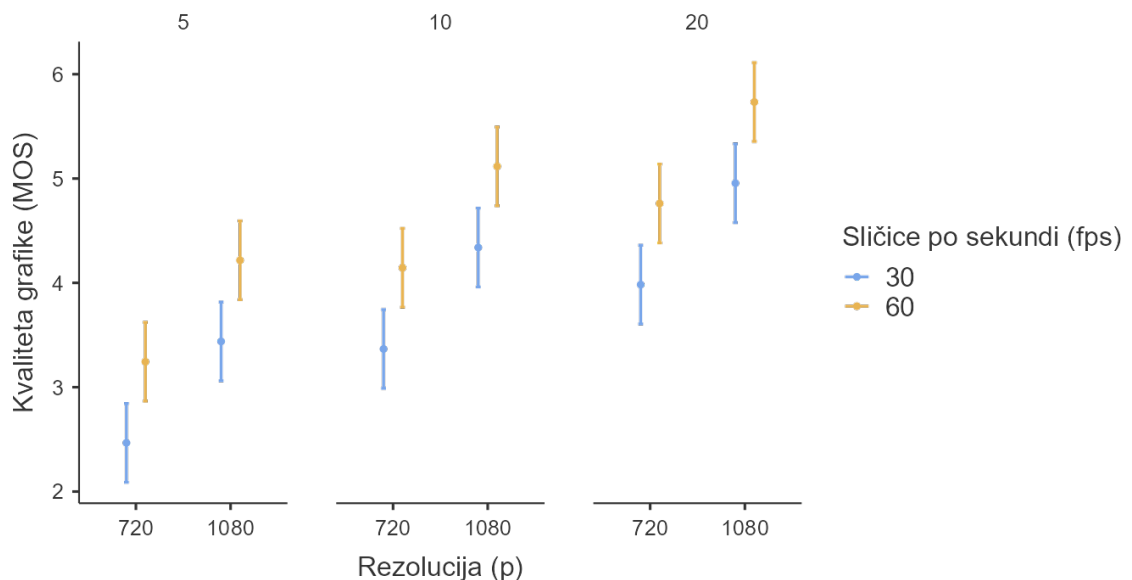
20 Mb/s i 1080p, 60 fps, 20 Mb/s, kao i u Grafu 4.1, jasno je vidljiv pad kvalitete u odnosu na ostale igre. Ponovno je potrebno napomenuti kako se takav trend u uzorku može tumačiti kao ne dostizanje punog potencijala za grafičku kvalitetu u odnosu na druge tipove igara. Ispitanici, bez obzira na to što nemaju informacije o kombinaciji parametara za promatrani uzorak, ne uspijevaju prepoznati razliku u kvaliteti te takve uzorke čak smatraju lošijima nego pri nižoj stopi bitova. Drugi zanimljivi trend vezan uz Dotu 2 je gotovo potpuna ekvivalentnost prosjeka ocjena kvalitete za stope bitova od 10 Mb/s i 20 Mb/s pri 30 fps uz 720p i 1080p. Općenito su za rezoluciju od 1080p sve vrijednosti za Dotu 2 vrlo visoke i minimalno se razlikuju kao da stopa bitova i sličice po sekundi uopće ni ne utječu na dojmove ispitanika. Kod rezolucije 720p, razlike su ipak malo više izražene. Igra Dirt 5 ponovno u najviše uzoraka dostiže najniže vrijednosti prosjeka ocjena kvalitete grafičkih detalja. Za krajnje maksimalne vrijednosti promatranih parametara video kodiranja, sve igre dostižu približno jednake vrlo visoke prosjeke ocjena i pri tome ne dolaze do izražaja razlike u vrsti ili različitim zahtjevima igara.

Rezultati iz Tablice 4.2 prikazuju kako je kvaliteta grafike pod statistički značajnim utjecajem rezolucije ($F=12,935$; $p<0,001$), broja sličica po sekundi ($F=7,517$; $p<0,001$) i stope bitova ($F=12,669$; $p<0,001$). Rezultati linearne regresije su prikazani unutar Tablice 4.5 i Grafa 4.4. Veći rezultati za kvalitetu grafike postižu se za rezoluciju od 1080p u odnosu na 720p ($t=5,81$; $p<0,001$), 60 fps u odnosu na 30 fps ($t=4,65$; $p<0,001$) te 20 Mb/s u odnosu na preostale dvije razine te varijable ($t=4,39$; $p<0,001$; $t=7,40$; $p<0,001$), iz čega se može iščitati kako su rezolucija, broj sličica po sekundi te stopa bitova dobri prediktori kvalitete grafičkih detalja uzoraka.

Iako su rezultati analize podataka ukupne kvalitete i kvalitete grafike na prvi pogled vrlo slični, kad se uspoređuju grafovi 4.2 i 4.4, vidljivo je kako je razlika za broj sličica po sekundi, kroz različite eksperimentalne scenarije, manja za kvalitetu grafike no što je za ukupnu kvalitetu uzoraka. Iz toga slijedi kako broj sličica po sekundi ima veći utjecaj na procjenu ukupne kvalitete nego na procjenu kvalitete grafičkih detalja uzorka.

Prediktor	Procjena	SE	t	p
Rezolucija:				
1080 - 720	0,972	0,167	5,81	<0,001
Sličice po sekundi:				
60 - 30	0,778	0,167	4,65	<0,001
Stopa bitova:				
10 - 5	0,900	0,205	4,39	<0,001
20 - 5	1,517	0,205	7,40	<0,001

Tablica 4.5: Rezultati linearne regresije za kvalitetu grafike s parametrima video kodiranja kao prediktorima.

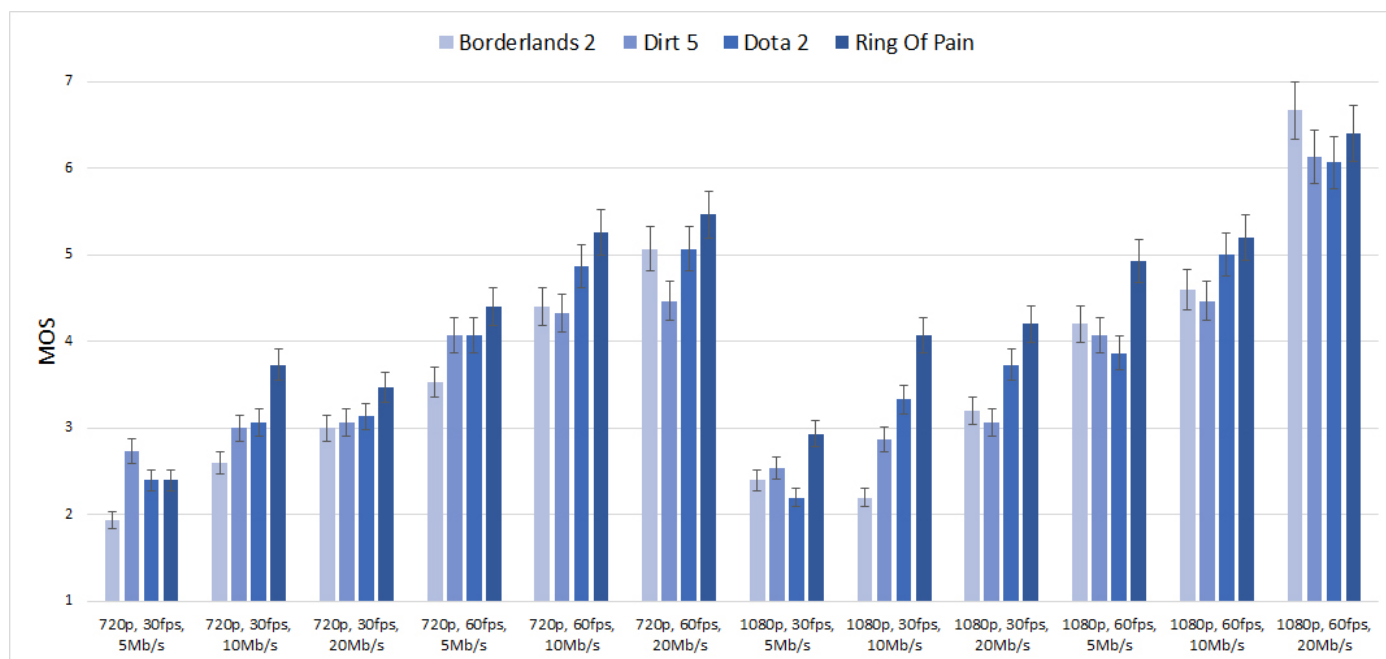


Graf 4.4: Grafički prikaz rezultata linearne regresije za kvalitetu grafike.

4.4. Tečnost scene uzoraka

Iskazi ispitanika prikupljeni su i za pitanje o tečnosti scene te su podatci prikazani unutar Grafa 4.5.

Nazire se postepeni pravilni rast ukupnog prosjeka za sve igre s lijeve prema desnoj strani grafa. Prosjek ocjena dostignut za kombinaciju 1080p, 60 fps, 20 Mb/s najviši je do sad gledajući sve igre istovremeno, a igra Ring of Pain ponovno u gotovo svakoj kombinaciji ostvaruje najviše ocjene ispitanika. Za iste iznose broja sličica po sekundi i stope bitova, a različite rezolucije, u nekim se dijelovima grafa čini kako su



Graf 4.5: Prosječne ocjene mišljenja ispitanika o tečnosti scene promatranih uzoraka (95%-tni intervali pouzdanosti).

više ocjene dosegnute za nižu rezoluciju.

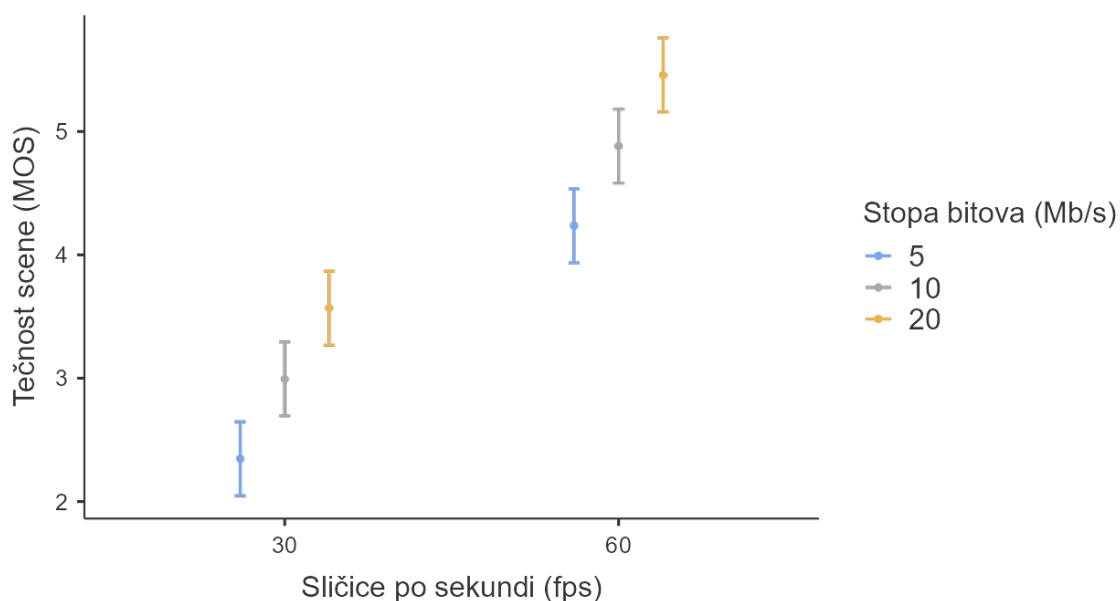
Posebnu pažnju je potrebno usmjeriti prema igrama koje karakterizira visoki intenzitet (Borderlands 2 i Dirt 5). Promatrajući prosjeke ocjena za igru Dirt 5, možemo uočiti da je najviša lokalna razlika dobivenih vrijednosti, u obliku rasta, ostvarena pri prijelazu s 30 fps na 60 fps, što za ispitanike predstavlja značajno poboljšanje kvalitete iskustva. Borderlands 2 ima pravilan kontinuirani rast po parametrima, a apsolutni maksimum doseže za već spomenutu kombinaciju na krajnje desnoj strani grafa. Kao posebno zanimljivi uzorak u grafu možemo istaknuti veliku međusobnu razliku u tečnosti igara pri kombinaciji 1080p, 30 fps i 10 Mb/s. Tada rezultati dosežu vrijednosti prosjeka suprotne visini zahtjeva za tečnošću i grafičkim detaljima igara (niže ocjene za visoke zahtjeve i obratno), a Borderlands 2 postaje vrlo sličan dojmovima s krajnje lijeve strane grafa.

Jednosmjernom analizom varijance pronađen je statistički značajan glavni efekt broja sličica po sekundi ($F=83,381$; $p<0,001$) te stope bitova ($F=4,928$; $p=0,012$), dok glavni efekt rezolucije nije pokazao statistički značajnu razliku ($F=1,145$; $p=0,290$). To znači da porastom vrijednosti broja sličica po sekundi te vrijednosti stope bitova, raste i vrijednost procjene tečnosti scene uzoraka, a rezolucija nema nikakav utjecaj na tečnost scene. Iz navedenog razloga, rezolucija nije uključena u regresijsku analizu. Linearna regresija u skladu je s rezultatima analize varijance, što je vidljivo iz Tablice

4.6 i Grafa 4.6. Osim toga, prema Tablici 4.4, tečnost scene je visoko korelirana s kvalitetom grafičkih detalja (zbog stope bitova), što znači da procjena tečnosti scene raste proporcionalno kvaliteti grafičkih detalja i obratno, a koeficijent korelacije iznosi 0,714 ($p < 0,001$).

Prediktor	Procjena	SE	t	p
Sličice po sekundi:				
60 - 30	1,889	0,149	12,70	<0,001
Stopa bitova:				
10 - 5	0,646	0,182	3,54	<0,001
20 - 5	1,221	0,182	6,70	<0,001

Tablica 4.6: Rezultati linearne regresije za tečnost scene s parametrima video kodiranja kao prediktorima.

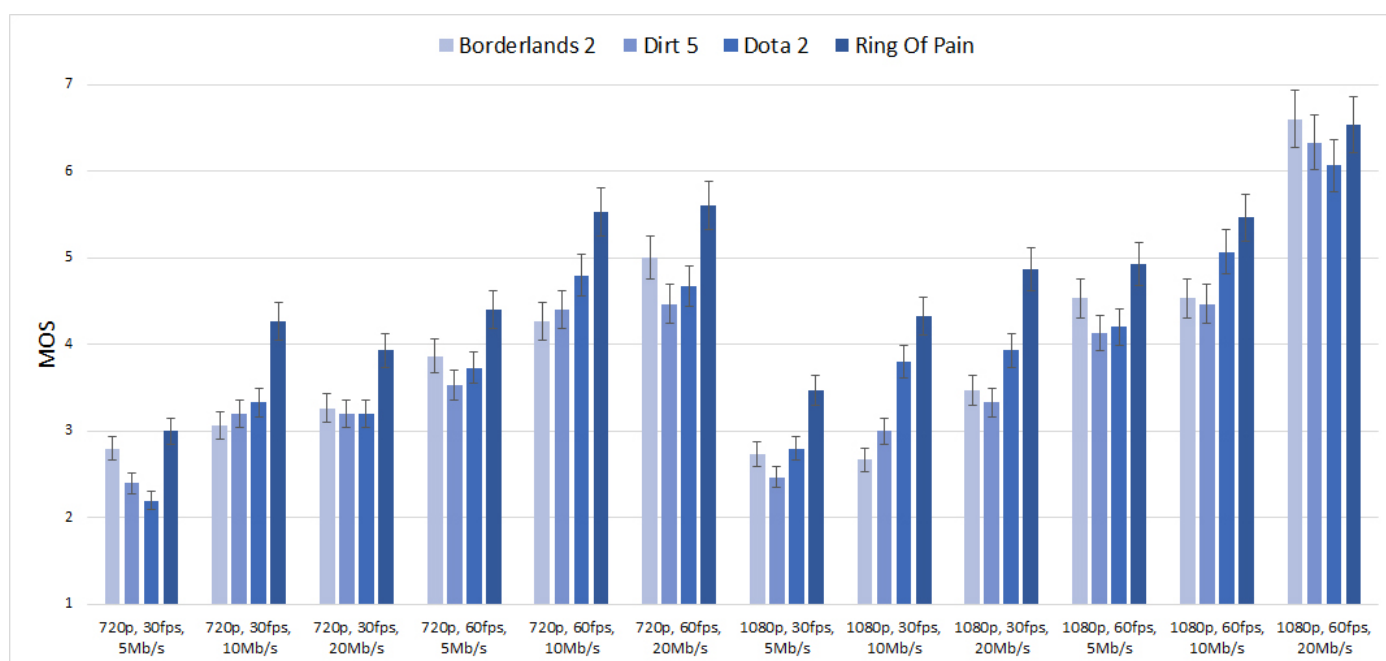


Graf 4.6: Grafički prikaz rezultata linearne regresije za tečnost scene.

4.5. Želja za igranjem pri postavkama kvalitete uzorka

Kao završno pitanje za svaki testni uzorak, ispitanici su trebali ocijeniti svoju želju za igranjem igre pri postavkama parametara video kodiranja. Unutar Grafa 4.7 prikazani su prosjeci ocjena ispitanika za sve igre pri svim kombinacijama parametara i odmah je moguće primijetiti sličnost u izgledu s Grafom 4.1 vezanim za ukupnu kvalitetu.

Jednako kako igrači vrednuju ukupni dojam kvalitete (spoj razine grafičkih detalja i tečnosti scene), tako se i izjašnjavaju o mogućnosti igranja pri takvoj kvaliteti (viša kvaliteta znači veću želju za igranjem).



Graf 4.7: Prosječne ocjene mišljenja ispitanika o želji za igranjem pri postavkama kvalitete uzoraka (95%-tni intervali pouzdanosti).

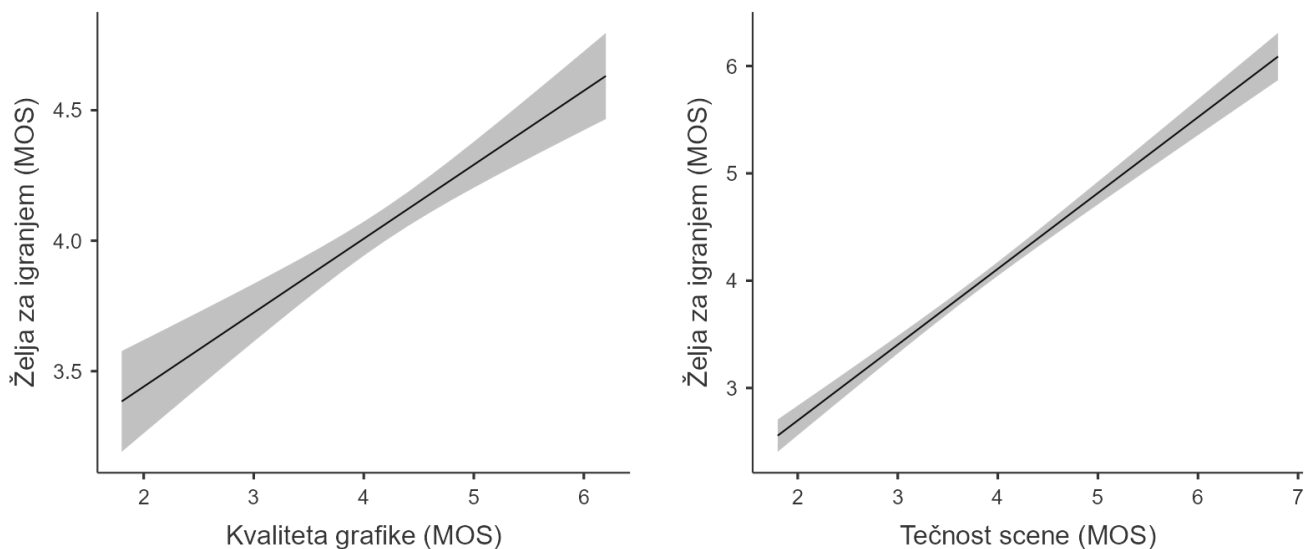
Potrebno je ukazati na jednu istaknutu promjenu u odnosu na graf ukupne kvalitete. Ako promatramo prvu kombinaciju u grafu (720p, 30 fps, 5 Mb/s), primijetiti ćemo da je Dota 2 ocijenjena kao igra više kvalitete, ali Dirt 5 izaziva veću želju ispitanika za igranjem. Ako usporedimo prosjeke ocjena za kvalitetu grafike i tečnost scene iz grafova 4.3 i 4.5, vidljivo je kako Dirt 5 ima bolje ocijenjenu tečnost, a Dota 2 kvalitetu grafike. Iz toga je moguće pretpostaviti kako subjekti kod ocjenjivanja ukupne kvalitete prednost pridaju grafičkoj komponenti, ali bi prije igrali igru koja manje zastajkuje. Ista je situacija u grafu vidljiva i na još nekoliko mjesta te nam to može služiti kao ojačanje pretpostavke.

Našu pretpostavku potvrđuju rezultati iz Tablice 4.7, koja prikazuje Spearmanove koeficijente povezanosti. Želja za igranjem raste proporcionalno s tečnošću scene i kvalitetom grafike, no zbog većeg koeficijenta, tečnost scene ($r_s=0,97$, $p<0,001$) ima prednost u odnosu na kvalitetu grafike uzoraka ($r_s=0,8$; $p<0,001$). Konzistentnost ovih rezultata vidljiva je u Grafovima 4.8, koji pokazuju nešto veći nagib pravca tečnosti scene (veća korelacija), te nešto veću varijabilnost kvalitete grafike.

Kvalitete	r_s	p
Želja za igranjem & Grafika	0,800	<0,001 ***
Želja za igranjem & Tečnost	0,970	<0,001 ***

*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$.

Tablica 4.7: Prikaz Spearmanovih rho koeficijenata želje za igranjem u korelaciji s grafikom i tečnošću scene.



Grafovi 4.8: Grafički prikaz Spearmanovih rho koeficijenata želje za igranjem u korelaciji s grafikom i tečnošću scene.

4.6. Važnost testiranih parametara za procjenu kvalitete iskustva

U poslije-ispitnoj anketi ispitanici su izrazili svoja mišljenja o važnosti testiranih parametara za procjenu kvalitete iskustva, a razdioba rezultata prikazana je u Tablici 4.8. Iako je subjektima ponovno dana ljestvica od 7 vrijednosti, iz razdiobe ocjena jasno je kako su korištene samo vrijednosti 5, 6 i 7 što znači da svi ispitanici korištene parametre smatraju važnim faktorom u procjeni kvalitete iskustva. Točnije, ispitanici pokazuju razumijevanje razlika u kvaliteti grafičkih detalja i tečnosti scene koje nastaju prilikom korištenja različitih parametara video kodiranja. Ovakvom je razdiobom prosjeka ocjena pokazana svijest ispitanika o potrebi za pronalaženjem optimalnih postavki za što kvalitetnije iskustvo igranja igara temeljenih na računalnom oblaku.

Ocjene	Razdioba vrijednosti
1, 2, 3, 4	0 (0%)
5	4 (26,7%)
6	8 (53,3%)
7	3 (20%)

Tablica 4.8: Prosječne ocjene mišljenja ispitanika o važnosti testiranih parametara za procjenu kvalitete iskustva.

5. Zaključak

Pružateljima usluga igara temeljenih na računalnom oblaku, s obzirom na brzinu rasta industrije, korisne su i potrebne informacije o utjecajima različitih parametara video kodiranja na percepciju kvalitete iskustva korisnika. Unutar ovoga rada opisano je istraživanje provedeno u obliku pasivnog testiranja kvalitete iskustva nad 15 ispitanika koji su, pomoću pripremljenih kriterija unutar ankete, ocjenjivali kvalitetu videozapisa iz skupa podataka o igrama temeljenim na računalnom oblaku. Odabrani uzorci obuhvaćaju četiri različita tipa digitalnih igara te su snimljeni pri različitim postavkama rezolucije, stope bitova i broja sličica po sekundi. Ispitanici su procjenjivali ukupnu kvalitetu, kvalitetu grafike te tečnost scene, a za svaki su uzorak prikupljene i informacije o želji za igranjem pri postavkama kvalitete. Rezultati istraživanja prikazali su značajan utjecaj različitih parametara na različite tipove kvalitete i na različite vrste igara.

Istraživanje je pokazalo kako igre s niskim zahtjevima za razinom kvalitete grafičkih detalja te niskim intenzitetom, ostvaruju više prosječne ocjene ispitanika u kategoriji ukupne kvalitete u odnosu na igre s višim zahtjevima. Štoviše, igre koje karakterizira visok intenzitet u konačnici ostvaruju najniže rezultate. Pad stope bitova za sve tipove igara rezultira drastičnim padom kvalitete, a s porastom vrijednosti svih parametara rastu i prosjeci ocjena. Statističkom je analizom pokazano kako ukupna kvaliteta raste proporcionalno s kvalitetom grafike i tečnošću scene pri čemu veći utjecaj ima upravo kvaliteta grafike. Prema rezultatima dobivenim linearnom regresijom, rezolucija, u odnosu na stopu bitova i broj sličica po sekundi, nema statistički utjecaj na tečnost scene te za isti tip kvalitete neki uzorci bilježe porast vrijednosti prosječnih ocjena za manje vrijednosti rezolucije. S druge strane, kvaliteta grafike ovisi o svim parametrima, ali broj sličica po sekundi ipak ostvaruje veći utjecaj na ukupnu kvalitetu zbog tečnosti, a ne zbog kvalitete grafike. Što su tečnost scene i kvaliteta grafike veći, to je veća i želja ispitanika za igranjem pri postavkama parametara. Veća je želja za igranjem, suprotno ukupnoj kvaliteti gdje grafička kvaliteta nosi najveći utjecaj, izražena pri onim uzorcima koji ostvaruju više prosjeke ocjena tečnosti scene. Najviše i

najniže vrijednosti rezultata, za svaki tip kvalitete, zabilježene su za kombinacije koje sadrže krajnje najviše ili najniže vrijednosti parametara. Po završetku testiranja, prikupljeni su podatci o svijesti ispitanika o načinu na koji promjene parametara utječu na njihove ocjene te time i o važnosti korištenih parametara za procjenu kvalitete iskustva igranja igara temeljenih na računalnom oblaku. Svi su ispitanici, u većoj ili manjoj mjeri, korištene parametre procijenili važnima što može služiti kao motivacija za slična daljnja istraživanja.

Rezultati statističke analize, bez obzira na relativno mali broj ispitanika, podupiru pretpostavke o međusobnoj ovisnosti kvalitete i parametara video kodiranja. Kako bi se mogla provesti još preciznija analiza iz koje bi se moglo izvesti više zaključaka o utjecaju parametara na različite tipove igara, poželjno bi bilo pribaviti više ispitanika. Na taj bi se način broj rezultata prikupljenih za jednu igru približio trenutnom ukupnom broju rezultata za sve igre. Također, kao što je napomenuto, ovo istraživanje ne uključuje obradu rezultata vezanih uz prijašnje iskustvo igranja te upućenost u tehnološke zahtjeve digitalnih igara. Ipak, i ti su rezultati prikupljeni te su kao takvi korisni za daljnja istraživanja. S obzirom na to da postoje i drugi parametri koji utječu na kvalitetu iskustva poput kašnjenja, varijacije kašnjenja (engl. *jitter*) i propusnosti (engl. *throughput*), bilo bi korisno i njih uključiti u daljnja istraživanja te pokušati definirati koji skup parametara ima najveći utjecaj na procjenu kvalitete iskustva.

6. Literatura

- [1] K.-T. Chen, Y.-C. Chang, H.-J. Hsu, D.-Y. Chen, C.-Y. Huang, and C.-H. Hsu, "On the quality of service of cloud gaming systems," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 16, no. 2, pp. 480–495, 2014.
- [2] K. Orland, "Ubisoft ceo: Cloud gaming will replace consoles after the next generation," 2018. Pristupljeno: 2023-01-14.
- [3] "Best video codec for live streaming." <https://www.synopi.com/best-video-codec-for-live-streaming>. 2022. Pristupljeno: 2023-01-14.
- [4] W. Cai, R. Shea, C.-Y. Huang, K.-T. Chen, J. Liu, V. C. M. Leung, and C.-H. Hsu, "The future of cloud gaming [point of view]," *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 4, pp. 687–691, 2016.
- [5] A. Di Domenico, G. Perna, M. Trevisan, L. Vassio, and D. Giordano, "A network analysis on cloud gaming: Stadia, geforce now and psnow," *Network*, vol. 1, no. 3, pp. 247–260, 2021.
- [6] M. Carrascosa and B. Bellalta, "Cloud-gaming: Analysis of google stadia traffic," *Computer Communications*, vol. 188, pp. 99–116, 2022.
- [7] R. Shea, J. Liu, E. C.-H. Ngai, and Y. Cui, "Cloud gaming: architecture and performance," *IEEE Network*, vol. 27, no. 4, pp. 16–21, 2013.
- [8] W. Cai, V. C. Leung, and M. Chen, "Next generation mobile cloud gaming," in *2013 IEEE Seventh International Symposium on Service-Oriented System Engineering*, pp. 551–560, 2013.
- [9] D. Kristianto, "2022 gaming spotlight: Mobile extends lead over pc and console as gaming market hits 222 billion dollars," 2022. Pristupljeno: 2023-01-14.

- [10] M. Jarschel, D. Schlosser, S. Scheuring, and T. Hoßfeld, “An evaluation of qoe in cloud gaming based on subjective tests,” in *2011 Fifth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, pp. 330–335, 2011.
- [11] S. Schmidt, *Assessing the quality of experience of cloud gaming services*. Springer Nature, 2022.

7. Sažetak

Optimizacija parametara video kodiranja, u svrhu povećanja kvalitete iskustva igranja igara temeljenih na računalnom oblaku, predstavlja velik izazov za pružatelje takvih usluga. Kombinacije parametara za različite tipove igara mogu značajno doprinijeti ili naštetiti iskustvu korisnika. Prema tome, potrebno je pronaći optimalan model za ostvarenje najveće moguće kvalitete grafike, tečnosti scene te ukupne kvalitete za stanje mreže. Unutar ovog rada opisano je pasivno testiranje kvalitete iskustva nad skupom podataka o igrama temeljenim na računalnom oblaku. Ispitanici su, prema odabranoj metodologiji, procjenjivali kvalitetu prikazanih videozapisa, a iz rezultata su, pomoću metoda statističke analize, izvedeni zaključci o utjecaju različitih parametara na prosječne ocjene kvalitete za različite tipove igara. Također, za svaki je uzorak utvrđen utjecaj postavki kvalitete na želju ispitanika za igranjem. Istraživanje ostavlja prostora za detaljnije proučavanje učinka dodatnih parametara mreže kao i kompetentnosti ispitanika na dojam kvalitete iskustva igranja u računalnom oblaku.