

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA**

**LABORATORIJ TELEKOMUNIKACIJA I INFORMATIKE 2**

**VIŠEMEDIJSKE KOMUNIKACIJE**

Zagreb, lipanj, 2016.

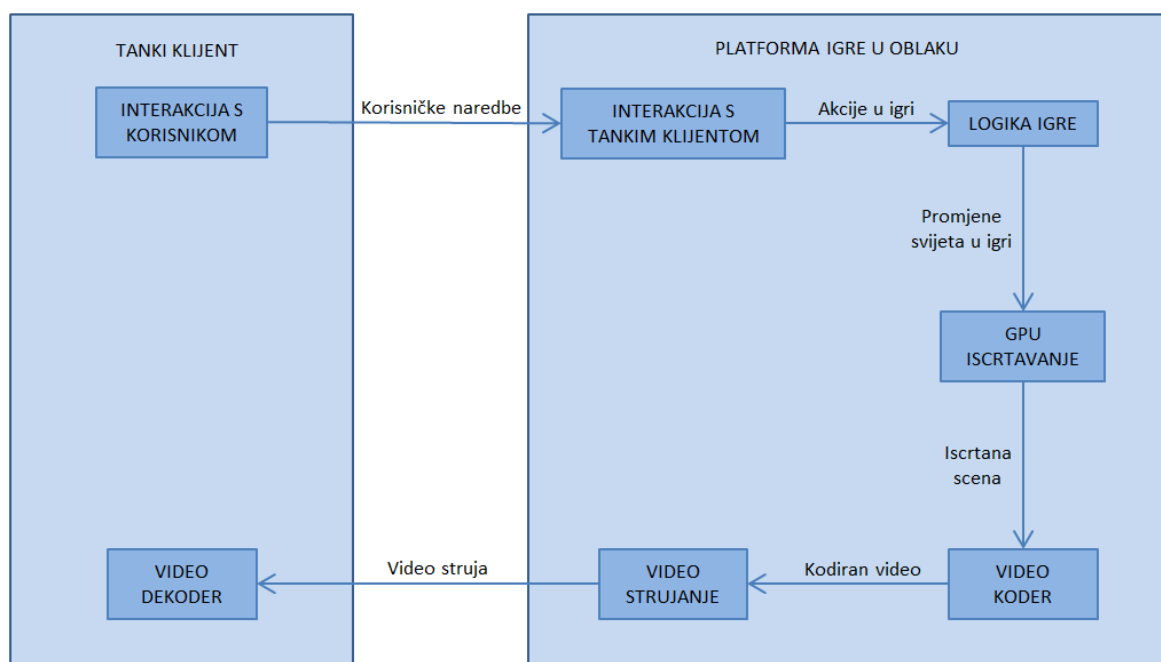
## Sadržaj

1. Igranje u oblaku .....	1
2. Analiza snimljenog prometa.....	4
3. Analiza kvalitete video zapisa snimljenog tijekom igranja u oblaku .....	6
a) Serious Sam 3 .....	6
b) Orcs Must Die .....	8
4. Analiza iskustvene kvalitete .....	10
a) Grafički prikaz i faktorska analiza.....	10
b) Regresijska analiza .....	14
c) Korelacijska analiza .....	16
d) Grafički prikazi ovisnosti MOS-a i fluidnosti te grafičkog prikaza .....	20
e) Zaključak.....	23
5. Komentari na izvođenje vježbe .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## 1. Igranje u oblaku

Usluga igranja u oblaku (engl. *cloud gaming*) nastaje kao spoj računarstva u oblaku (engl. *cloud computing*) i umreženih igara pa se ponekad naziva i igranje na zahtjev. Igranje u oblaku omogućuje korisnicima udaljeno igranje, neovisno o vrsti uređaja preko kojih pristupaju usluzi igranja, bez velikih investicija u osobno računalo ili igraće konzole kao što su PlayStation 4, Xbox One i Wii-U. Umjesto njih korisnik koristi računalne resurse smještene u oblak, kad i gdje god poželi ako ima pristup Internetu, a koje može plaćati po korištenju ili jednokratno. Dakle dovoljno je imati uređaj koji može prikazati video sadržaj u razlučivosti SD ili HD (recimo, prijemnik za IPTV, HDMI dongle poput Chrome Casta, pametni televizor, osobno računalo, tablet ili čak mobilni uređaj) i kontroler.

Osnovna ideja igranja u oblaku temelji se na tome da poslužitelji u oblaku primaju korisničke naredbe i na temelju njih i trenutnog stanja igre iscrtavaju virtualnu scenu te je u obliku video sadržaja šalju nazad korisniku koji pomoću tzv. tankog klijenta (engl. *thin client*) prikazuju trenutnu scenu. Slika 1 prikazuje arhitekturu generičke usluge igranja u oblaku. Općenito je arhitekture klijent – poslužitelj pri čemu se više klijenata spaja na jedan poslužitelj u oblaku.



Slika 1 Arhitektura igranja u oblaku

Tanki klijent nalazi se na korisničkom uređaju. On zapravo predstavlja sučelje koje preko modula za interakciju s korisnikom prima korisničke naredbe te ih šalje putem Interneta u oblak na obradu. Putem transportnog protokola UDP prenose se korisničke naredbe do oblaka, a kako je za strujanje videa potrebna unaprijed uspostavljena veza, za komunikaciju od poslužitelja do tankog klijenta koristi se spojni protokol TCP.

Sva logika izračuna stanja virtualnog svijeta te iscrtavanje virtualnog svijeta nalazi se na poslužitelju u oblaku. Modul s logikom igre obrađuje korisnikove akcije i mijenja svijet (virtualne scene) u igri. Grafička procesorska jedinica iscrtava promijenjene scene te ih šalje do video koda. Iscrtavanje (engl. *rendering*) je proces kojim se interaktivni element 3D računalne grafike pretvara u statični 2D objekt, sliku. Video koder kodira (komprimira) iscrtane scene i šalje ih do modula za video strujanje koji ih u obliku videa dostavlja tankom klijentu. Na tankom klijentu video se dekodira i prikazuje korisniku.

#### **Prednosti igranja u oblaku:**

- **smanjeni troškovi** – nema potrebe za velikim ulaganjem u računala i nadogradnjom; omogućuje igranje na uređajima koji inače nemaju dovoljnu snagu za pokretanje igara – samo plaćamo korištenje usluge igranja u oblaku,
- **neovisno o uređaju** – korisnik može udaljeno igrati igre neovisno o operacijskom sustavu (Windows, Mac, Linux, Android, iOS) i vrsti uređaja preko kojeg pristupa usluzi (PC, laptop, smartphone, tablet),
- **„instantno“ igranje i ušteda memorije** – nema potrebe za preuzimanjem velike količine podataka kako bi mogli igrati, te
- igre je gotovo nemoguće hakirati jer se izvode na udaljenom serveru umjesto na korisničkom računalu.

#### **Nedostaci igranja u oblaku:**

- **video kompresija** – video zapis koji poslužitelj u oblaku dostavlja korisniku je komprimiran pa nije visoke kvalitete kao što bi bio kada bi igra bila pokrenuta na korisničkom računalu,
- **kašnjenje** – igra reagira na korisnikove akcije puno brže ako se ona izvodi na korisničkom računalu, a prilikom igranja u oblaku akcija „putuje“ internetskom

mrežom do poslužitelja u oblaku te je on obrađuje i šalje video zapis nazad do korisničkog računala što je podložno kašnjenju. Stoga je potrebna brza mreža visokih performansi, te

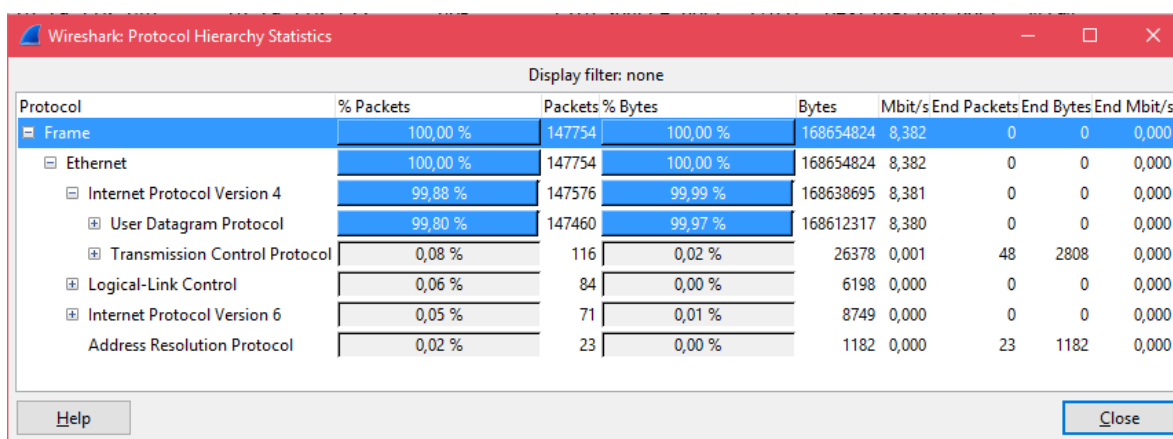
- **sigurnost** – problem zaštite lokacija korisnika i njegovih podataka.

Osnovna razlika između tradicionalnih mrežnih igara i igara u oblaku je interakcijsko kašnjenje zbog obrade korisničkih naredbi na poslužitelju u oblaku i prikaz video zapisa na klijentu. Npr., korisnik može uputiti zahtjev tankom klijentu za pomicanjem igrača u igri. Lokalno, kod tradicionalnih mrežnih igara, pomicanje kreće odmah dok se kod igara u oblaku može dogoditi da poslužitelj u oblaku ne primi informaciju o pomicanju nekoliko milisekundi zbog prolaska zahtjeva kroz mrežu. Vrijeme koje zahtjev putuje do poslužitelja u oblaku ovisi o karakteristikama mrežnog prometa. Kako se iscrtavanje scena odvija u oblaku, tanki klijent ne može sakriti interakcijsko kašnjenje od korisnika. Vizualni znakovi, kao što je pomicanje pokazivača miša, mogu biti zakašnjeni do 1000 ms što korisnici ne moraju tolerirati pa to može rezultirati lošom iskustvenom kvalitetom. Iskustvena kvaliteta igara koje su osjetljive na vrijeme izvršavanja korisničkih naredbi je degradirana, ali samim time što su one dinamične, manje su osjetljive na gubitak paketa jer korisnik prilikom igranja „nema vremena“ obraćati pozornost na detalje pa ne primjećuje degradaciju kvalitete slike.

Kako poslužitelj u oblaku šalje video strujanje, on dodatno ima video koder (vidljivo na slici Slika 1) koji korisnički poslužitelj u slučaju tradicionalnih mrežnih igara ne mora imati. Činjenica da se kroz mrežu šalje video struja postavlja visoke zahtjeve na propusnost mreže; generira se puno veći mrežni promet nego u slučaju tradicionalnih mrežnih igara.

## 2. Analiza snimljenog prometa

Snimljeni mrežni promet uključuje veliku količinu UDP komunikacije i gotovo zanemariv dio TCP komunikacije (Slika 2). Dva su toka podataka, jedan između računala na kojem je promet sniman (igrana igra) i poslužitelja u oblaku s kojeg je igra strujana te jedan u obratnom smjeru, od poslužitelja do našeg računala (Slika 3). Od računala do poslužitelja se šalju korisničke naredbe, a od poslužitelja do računala se struji video. Primjećujemo i neke dodatne adrese, međutim gotovo sva komunikacije odvija se između našeg računala i poslužitelja u oblaku. Adresa poslužitelja je 10.19.128.140 i vrata s kojih struji igru su 27031, a adresa računala s kojeg je igrana igra je 10.19.128.133 te prima video (i šalje zahtjeve) na portu 54294.



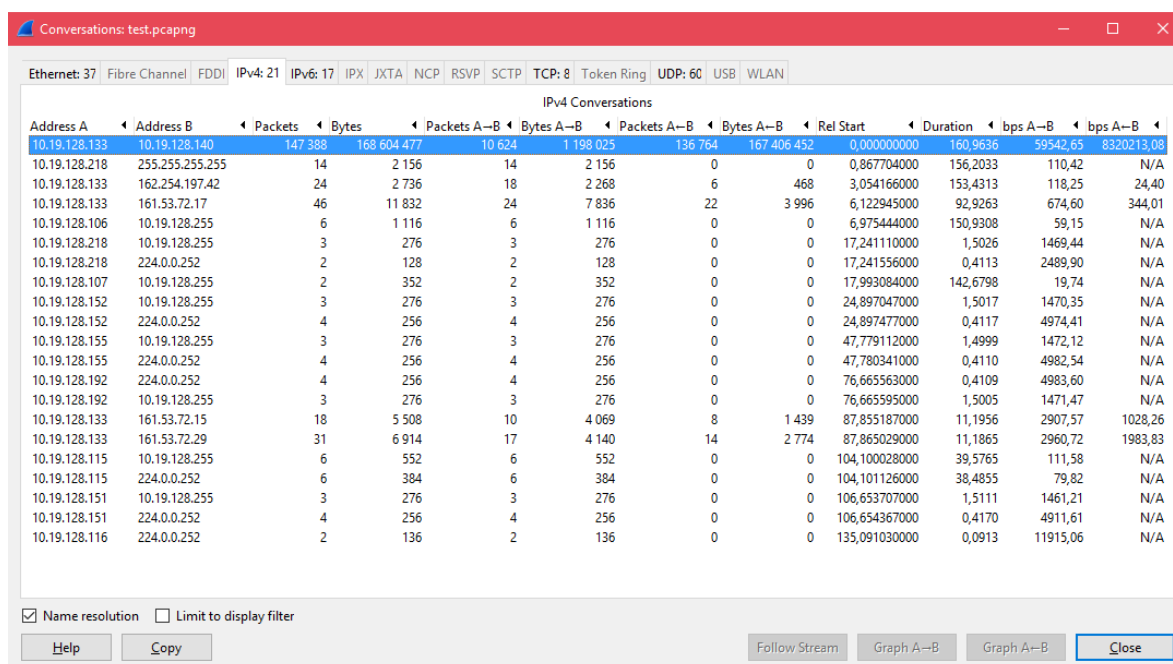
Wireshark: Protocol Hierarchy Statistics

Display filter: none

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
Frame	100,00 %	147754	100,00 %	168654824	8,382	0	0	0,000
Ethernet	100,00 %	147754	100,00 %	168654824	8,382	0	0	0,000
Internet Protocol Version 4	99,88 %	147576	99,99 %	168638695	8,381	0	0	0,000
User Datagram Protocol	99,80 %	147460	99,97 %	168612317	8,380	0	0	0,000
Transmission Control Protocol	0,08 %	116	0,02 %	26378	0,001	48	2808	0,000
Logical-Link Control	0,06 %	84	0,00 %	6198	0,000	0	0	0,000
Internet Protocol Version 6	0,05 %	71	0,01 %	8749	0,000	0	0	0,000
Address Resolution Protocol	0,02 %	23	0,00 %	1182	0,000	23	1182	0,000

Help Close

Slika 2 Postotak prometa po protokolima



Conversations: test.pcapng

Ethernet: 37 Fibre Channel FDDI IPv6: 21 IPv4: 17 IPX JXTA NCP RSVP SCTP TCP: 8 Token Ring UDP: 60 USB WLAN

IP4 Conversations

Address A	Address B	Packets	Bytes	Packets A→B	Bytes A→B	Packets B→A	Bytes B→A	Rel Start	Duration	bps A→B	bps B→A
10.19.128.133	10.19.128.140	147 388	168 604 477	10 624	1 198 025	136 764	167 406 452	0,000000000	160,9636	59542,65	8320213,08
10.19.128.218	255.255.255.255	14	2 156	14	2 156	0	0	0,867704000	156,2033	110,42	N/A
10.19.128.133	162.254.197.42	24	2 736	18	2 268	6	468	3,054166000	153,4313	118,25	24,40
10.19.128.133	161.53.72.17	46	11 832	24	7 836	22	3 996	6,122945000	92,9263	674,60	344,01
10.19.128.106	10.19.128.255	6	1 116	6	1 116	0	0	6,975444000	150,9308	59,15	N/A
10.19.128.218	10.19.128.255	3	276	3	276	0	0	17,241110000	1,5026	1469,44	N/A
10.19.128.218	224.0.0.252	2	128	2	128	0	0	17,241556000	0,4113	2489,90	N/A
10.19.128.107	10.19.128.255	2	352	2	352	0	0	17,993084000	142,6798	19,74	N/A
10.19.128.152	10.19.128.255	3	276	3	276	0	0	24,897047000	1,5017	1470,35	N/A
10.19.128.152	224.0.0.252	4	256	4	256	0	0	24,897477000	0,4117	4974,41	N/A
10.19.128.155	10.19.128.255	3	276	3	276	0	0	47,779112000	1,4999	1472,12	N/A
10.19.128.155	224.0.0.252	4	256	4	256	0	0	47,780341000	0,4110	4982,54	N/A
10.19.128.192	224.0.0.252	4	256	4	256	0	0	76,665563000	0,4109	4983,60	N/A
10.19.128.192	10.19.128.255	3	276	3	276	0	0	76,665595000	1,5005	1471,47	N/A
10.19.128.133	161.53.72.15	18	5 508	10	4 069	8	1 439	87,855187000	11,1956	2907,57	1028,26
10.19.128.133	161.53.72.29	31	6 914	17	4 140	14	2 774	87,865029000	11,1865	2960,72	1983,83
10.19.128.115	10.19.128.255	6	552	6	552	0	0	104,100028000	39,5765	111,58	N/A
10.19.128.115	224.0.0.252	6	384	6	384	0	0	104,101126000	38,4855	79,82	N/A
10.19.128.151	10.19.128.255	3	276	3	276	0	0	106,653707000	1,5111	1461,21	N/A
10.19.128.151	224.0.0.252	4	256	4	256	0	0	106,654367000	0,4170	4911,61	N/A
10.19.128.116	224.0.0.252	2	136	2	136	0	0	135,091030000	0,0913	11915,06	N/A

☒ Name resolution ☐ Limit to display filter

Help Copy Follow Stream Graph A→B Graph B→A Close

Slika 3 Snimljena komunikacija

Sa slike (Slika 3) je vidljivo da je u snimanom vremenu (*Duration*: 160.9636 sekundi) izmijenjena velika količina podataka između našeg računala i poslužitelja, 147 388 paketa ukupne veličine 168 604 477 okteta. Tokom od poslužitelja do našeg računala prošlo je 136 764 paketa (toliko paketa je poslao poslužitelj prema našem računalu – *Packets A ← B*) veličine ukupno 167 406 452 okteta (*Bytes A ← B*), a tokom u obratnom smjeru prošlo je 10 624 paketa veličine ukupno 1 198 025 okteta. Razlog puno manjem prometu između računala i poslužitelja je taj da se prema poslužitelju šalju samo naredbe za promjenom virtualnog svijeta, dok se u obratnom smjeru struji video.

Učestalost paketa od našeg računala prema poslužitelju je oko 66 paketa/s, a u obratnom smjeru oko 850 paketa/s.

Brzina paketa od našeg računala do poslužitelja je 59 542,65 bit/s (*bps A → B*), odnosno oko 60 kbit/s, a u obratnom smjeru čak 8 320 213,08 bit/s, tj. oko 8 Mbit/s. Uspoređujući te brzine s brzinama videa i audia ([https://en.wikipedia.org/wiki/Bit\\_rate](https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_rate)), vidimo da je brzina strujanja videa od poslužitelja do našeg računala otprilike jednaka brzini videa HDTV kvalitete ili brzini YouTube videa rezolucije 1080p. Za usporedbu s audiom, najveća brzina podržana MP3 standardom je 320 kbit/s dok je najčešća 256 kbit/s, brzina DVD-Audia je 9,6 kbit/s, a telefonskog prijenosa koji koristi kodeke za govor 8 kbit/s.

### 3. Analiza kvalitete video zapisa snimljenog tijekom igranja u oblaku

#### a) Serious Sam 3

Analiza kvalitete provedena je nad video sadržajima snimljenima za vrijeme laboratorijske vježbe, a identificirat će se ovako:

- **SS3 Video 1** (*streaming\_client 2016-05-24 16-08-53-27.mp4*) – video trajanja 10 sekundi od kojih u prve 3 sekunde imamo kontinuirano pomicanje kamere u skladu s laganim okretanjem igrača oko osi, a ostatak vremena kamera je stacionarna (jer je igrač izgubio život 😊).
- **SS3 Video 2** (*streaming\_client 2016-05-24 15-17-53-62.mp4*) – video trajanja 13 sekundi u kojem prevladava lagana kretnja igrača, a u skladu s tim, pomicanje kamere nije dinamično nego kontinuirano. Od 8. sekunde igrač je statičan, bez pomaka (jer puca u neprijatelja) pa je i kamera tada stacionarna.
- **SS3 Video 3** (*streaming\_client 2016-05-24 15-38-16-95.mp4*) – video trajanja 12 sekundi u kojem se do 5. sekunde igrač kreće kontinuirano i u potrazi je za neprijateljem, a kamera prati njegovu kretnju. Kad ga igrač nađe i krene pucati, video se zamrzne, a zvuk počinje krčati (vjerojatno se dogodila greška prilikom prijenosa videa).

Alatom MSU izmjerene su vrijednosti zrnatosti i zamućenja – parametara objektivne metrike za ulazne sekvence. Na taj se način pored subjektivne ocjene mogu dobiti i objektivne ocjene kvalitete slike, što pomaže pri uspostavi korelacija između subjektivne i objektivne ocjene kvalitete. **Zrnatost** (*MSU Blocking*) se odnosi na izobličenje slike koje je ovisno o kvaliteti pojedinog bloka iz kodirane strukture slike. Izobličenje blokova iskazuje se kao indeks kvalitete, pri čemu niže vrijednosti predstavljaju bolju kvalitetu, tj. manju zrnatost slike. **Zamućenje** (*MSU Blurring*) se odnosi na stupanj gubitka oštrote prostornih detalja u slici. Vrijednosti indeksa zamućenje su niže što je zamućenje veće.

Rezultati mjerenja objektivne metrike prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 1) tako da je za svaki parametar (zrnatost i zamućenje) i sekvencu izdvojena prosječna vrijednost parametra tijekom cijelog videa te okvir najslabijih osobina (okvir najveće zrnatosti ili okvir najvećeg zamućenja).



Tablica 1 Objektivna metrika sekvenci (Serious Sam 3)

SEKVENCA	ZRNATOST	ZAMUĆENJE
<b>SS3 Video 1</b>	10.60443 (1.731.002)	21.25404 (369.254)
<b>SS3 Video 2</b>	13.63653 (1.810.411)	13.49494 (651.388)
<b>SS3 Video 3</b>	13.75828 (1.623.892)	10.91009 (870.569)

Iz tablice (Tablica 1) je vidljivo da **SS3 Video 1** ima najbolje rezultate prema prosječnim vrijednostima, tj. najmanju vrijednost parametra zrnatosti (pojave blokova), a najveću vrijednost parametra zamućenja, dok **SS3 Video 3** ima najlošije rezultate budući da ima najveću vrijednost parametra zrnatosti, a najmanju vrijednost parametra zamućenja.

Ovakvi rezultati dobiveni analizom kvalitete sadržaja su očekivani zato što je video s najboljim rezultatima ujedno i najkraći video (**SS3 Video 1**) s najkraćim trajanjem nekakve akcije, tj. većinu vremena je statičan. Druga dva videa su dinamičnija, brzih kretnji, ali razlika u kvaliteti je osjetno velika. Brze kretnje objašnjavaju približne prosječne vrijednosti parametra zrnatosti kod ta dva videa jer one u naravi predstavljaju dosta zrnatu sliku. Veća je razlika u prosječnim vrijednostima parametara zamućenja kod **SS3 Video 2** i **3** koji označavaju gubitak oštrote rubova i prostornih detalja, što je u ovom slučaju puno izraženije kod **SS3 Video 3**, kako mjerenjem iskustvene, tako i objektivne kvalitete.

## b) Orcs Must Die

Analiza je provedena nad sljedećim video sekvencama:

**OMD Video 1** – video sekvenca traje 11 sekundi te igrač koji je u fokusu kamere uglavnom stoji na mjestu ili se tek malo pomiče naprijed-nazad. Kamera prati njegovo kretanje, sukladno pokretima se rotira oko njega te se približava ili udaljava od igrača (*zoom-in* ili *zoom-out*). Kvaliteta slike i razine prikazanih detalja, kao i fluidnost su zadovoljavajući.

**OMD Video 2** – ova sekvenca traje 12 sekundi i puno je dinamičnija od prethodne. Igrač se cijelo vrijeme kreće i to na više načina. U većem dijelu videa igrač trči dok ga kamera prati i rotira se oko njega. Imamo puno promjena smjera kretanja, padanje s visine, a na kraju videa možemo vidjeti i korištenje posebne moći odabranog lika. Ovo posljednje je najdinamičniji dio sekvence jer se odvija jako brzo i sam prikaz zahtijeva više detalja od običnog kretanja. Subjektivni dojam je da je zbog veće dinamike kvaliteta videa nešto slabija u odnosu na kvalitetu prethodnog videa.

**OMD Video 3** – posljednja video sekvenca traje 13 sekundi. Dinamiku u ovu sekvencu ne unose nagli pokreti igrača kao u posljednjoj sekvenci, već se ovdje radi o bliskoj borbi s neprijateljima. Igrač radi brze pokrete oružjem koji su popraćeni i vizualnim efektima poput zaleđivanja. Postavljene zamke su cijelo vrijeme aktivne stoga je razina detalja u ovoj sekvenci prilično velika pa je u skladu s tim kvaliteta slična prethodnoj sekvenci.

Alatom MSU je provedena analiza gore opisanih sekvenci. Parametri i njihova značenja su opisani prilikom analize za Serious Sam 3 u poglavlju 3. a).

Dobiveni parametri zrnatosti i zamućenja koji objektivno opisuju analizirane sekvence prikazani su u tablici (Tablica 2).

Tablica 2 Objektivna metrika sekvenci (Orcs Must Die)

SEKVENCA	ZRNATOST	ZAMUĆENJE
OMD Video 1	14.42286	16.99777
OMD Video 2	15.97630	14.49823
OMD Video 3	15.60330	14.90511

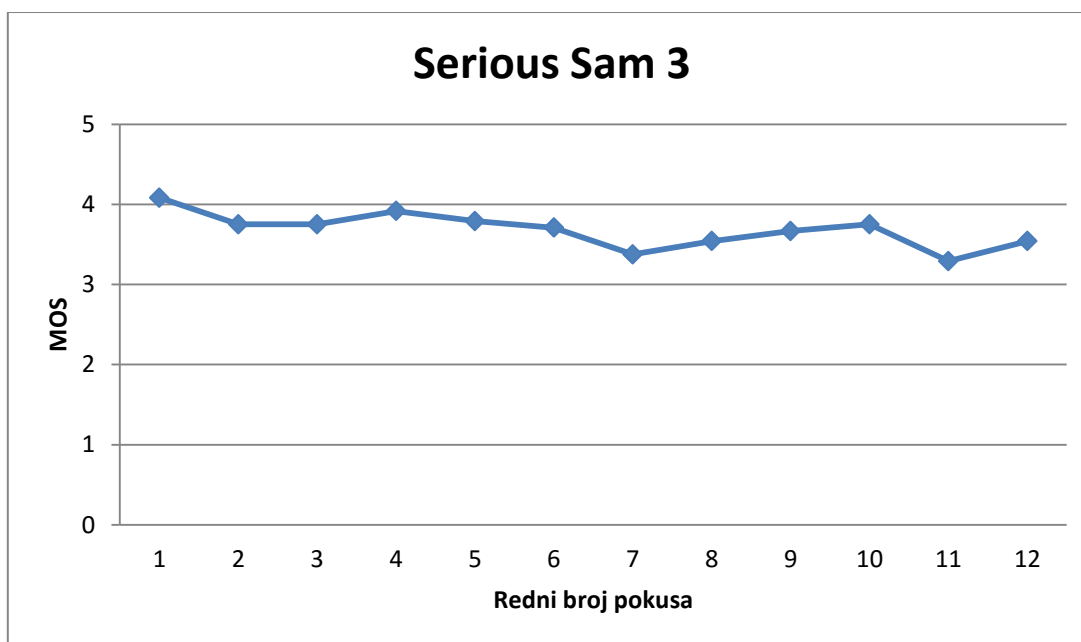
Iz tablice možemo vidjeti kako je prva sekvenca (**OMD Video 1**) dobila najbolje ocjene za zrnatost i zamućenje. Ovakav rezultat je očekivan jer u spomenutoj sekvenci imamo vrlo malo akcije (kretnji, borbe i slično).

S druge strane, druga (**OMD Video 2**) i treća (**OMD Video 3**) video sekvenca su dobile gotovo identične ocjene koje su dosta lošije od prve sekvence. Ovaj rezultat je također očekivan zbog same prirode onoga što spomenute sekvence prikazuju. Velika dinamika u drugom (brze kretnje, skokovi, rotacije kamere) te velika razina detalja u trećem videu (efekti oružja i zamki) su dovele do povećanja zrnatosti što je u skladu sa subjektivnim dojmom kvalitete (vidljiviji blokovi koji čine svaki pojedini okvir slike), kao i do povećanja zamućenja što potvrđuje subjektivni dojam o smanjenoj oštřini slike u ove dvije video sekvence.

## 4. Analiza iskustvene kvalitete

### a) Grafički prikaz i faktorska analiza

Slika 4 grafički prikazuje srednje vrijednosti ocjene iskustvene kvalitete izračunate na temelju odgovora svih igrača na 12 pokusa za igru Serious Sam 3. Za bolji prikaz ispod slike dane su brojčane vrijednosti za svaki pokus (Tablica 3). Na grafu vidimo da prvih šest pokusa ima malo bolje rezultate od drugih šest iako je odstupanje dosta malo. Svi pokusi se nalaze između ocjene 3 i 4, s jednim pokusom koji prelazi ocjenu 4. Mali raspon između ocjena se javlja zbog toga što je svaka grupa za isti pokus imala različite vrijednosti broja okvira u sekundi i brzine video kodiranja. Ti parametri direktno utječu na ocjenu kvalitete usluge pa se na osam grupa, odnosno 24 ocjene za svaki pokus, srednja vrijednost rasipa i iznosi negdje oko 3,68.



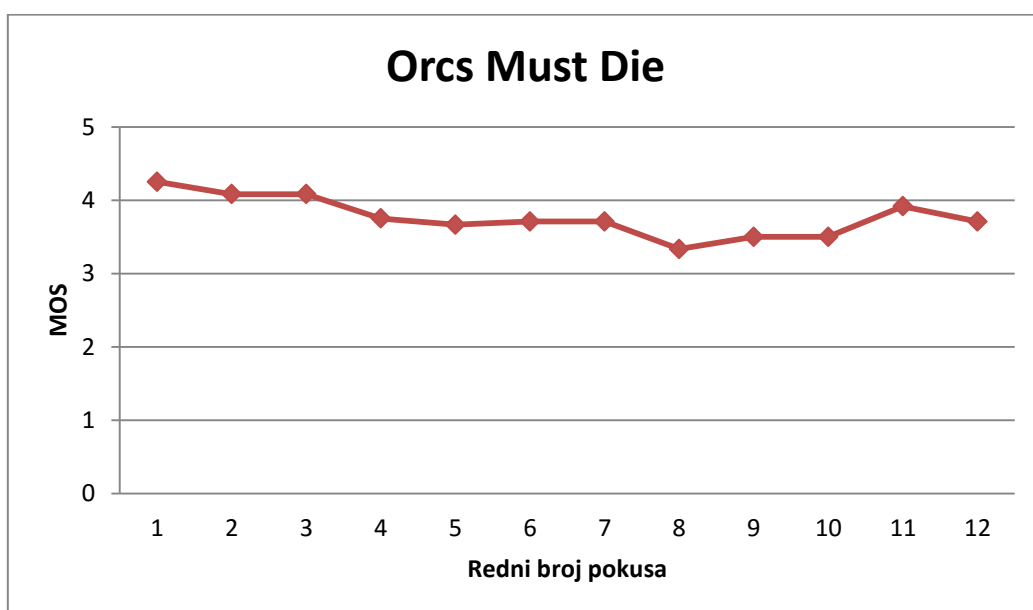
Slika 4 Srednje vrijednosti ukupne ocjene iskustvene kvalitete za svaki pokus za igru Serious Sam 3

Tablica 3 Srednje vrijednosti ocjene iskustvene kvalitete za svaki pokus za igru Serious Sam 3

MOS	Redni broj pokusa
4,08	1
3,75	2
3,75	3
3,92	4
3,79	5

3,71	6
3,38	7
3,54	8
3,67	9
3,75	10
3,29	11
3,54	12

Slika 5 grafički prikazuje srednje vrijednosti ocjene iskustvene kvalitete izračunate na temelju odgovora svih igrača na 12 pokusa za igru Orcs Must Die. Za bolji prikaz ispod slike dane su brojčane vrijednosti za svaki pokus (Tablica 4). Na grafu se može uočiti da su srednje vrijednosti ocjene iskustvene kvalitete bolje nego za igru Serious Sam 3. Čak 3 pokusa prelazi ocjenu 4, s ukupnom prosječnom ocjenom od 3,8 za sve pokuse. Općenito gledajući graf vidimo malo veće promjene između prva tri pokusa i tri pokusa koji se nalaze u drugoj polovici grafa. Za igru Orcs Must Die broj okvira u sekundi i brzina kodiranja su više utjecali na ocjenu iskustvene kvalitete. U usporedbi s igrom Serious Sam 3, korisnici su ipak bili zadovoljniji prilikom igranja. Rezultat nije iznenađujući jer Serious Sam 3 spada u FPS (First Person Shooter) tip igara koji je puno dinamičniji od *tower defense* RPG tipa kojem pripada Orcs Must Die. Promjena broja okvira u sekundi i brzine kodiranja u dinamičnijim virtualnim sredinama ima veći utjecaj na iskustvenu kvalitetu nego kad je dinamika manja.



Slika 5 Srednje vrijednosti ukupne ocjene iskustvene kvalitete za svaki pokus za igru Orcs Must Die

Tablica 4 Srednje vrijednosti ocjene iskustvene kvalitete za svaki pokus za igru Orcs Must Die

MOS	Redni broj pokusa
4,25	1
4,08	2
4,08	3
3,75	4
3,67	5
3,71	6
3,71	7
3,33	8
3,50	9
3,50	10
3,92	11
3,71	12

Faktorska analiza, odnosno analiza varijance je idući parametar kojeg ispitujemo. To je skup statističkih metoda pomoću kojih se provjeravaju promjene srednjih vrijednosti uzoraka, odnosno djelovanje promjene stanja nekog faktora na rezultat. Cilj je provesti faktorsku analizu gdje se ispituje utjecaj broja okvira u sekundi i brzine kodiranja videa na ocjenu ukupne iskustvene kvalitete.

Da bi proveli faktorsku analizu prvo moramo spremati zadane parametre u .csv datoteku te ih zatim obraditi u alatu R. Format .csv datoteke je tipa: QoE, BrojOkvira, BrzinaKodiranja.

Nakon spremanja podataka za obje igre potrebno je napisati skriptu u alatu R koja računa faktorsku analizu i prikazuje rezultate.

Faktorska analiza za igru Serious Sam 3 prikazana je na slici (Slika 6). Pretpostavka je da je određeni faktor statistički značajan ako je njegova  $p$ -vrijednost manja ili jednaka od 0.05. Za igru Serious Sam 3 jedini statistički značajni faktor je brzina kodiranja. Broj okvira i kombinacija broja okvira i brzine kodiranja nisu statistički značajni.

```

              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
data$BrojOkvira      1    0.00    0.001    0.001    0.976
data$BrzinaKodiranja  1   10.00   10.002   17.065 4.76e-05 ***
data$BrojOkvira:data$BrzinaKodiranja  1    0.16    0.159    0.271    0.603
Residuals          284  166.45    0.586
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Slika 6 Faktorska analiza za igru Serious Sam 3

Slika 7 prikazuje tablicu srednjih vrijednosti QoE-a. Iz tablice možemo vidjeti da broj okvira zaista nema nikakav utjecaj na ocjenu kvalitete usluge. Statistički značajna brzina kodiranja utječe na rezultate, no utječe i kombinacija ta dva faktora iako  $p$ -vrijednost to ne pokazuje! Što je veća brzina kodiranja i broj okvira, to je bolja ocjena iskustvene kvalitete.

```

Tables of means
Grand mean

3.680556

data$BrojOkvira
data$BrojOkvira
 25  35  45  60
3.68 3.68 3.68 3.68

data$BrzinaKodiranja
data$BrzinaKodiranja
 3   5  10
3.49 3.62 3.93

data$BrojOkvira:data$BrzinaKodiranja
data$BrzinaKodiranja
data$BrojOkvira 3   5  10
                25 3.52 3.63 3.89
                35 3.50 3.62 3.92
                45 3.48 3.62 3.94
                60 3.46 3.61 3.98

```

Slika 7 Tablica srednjih vrijednosti QoE-a za igru Serious Sam 3

Faktorska analiza za igru Orcs Must Die prikazana je na slici (Slika 8). Koristimo istu pretpostavku za  $p$ -vrijednost kao i za igru SS3. Faktorska analiza daje ispravnije rezultate za ovu igru te iz analize vidimo da su statistički značajni faktori brzina kodiranja te kombinacija broja okvira i brzine kodiranja. Broj okvira nije statistički značajan.

```

              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
data$BrojOkvira      1    0.06    0.060    0.103 0.74891
data$BrzinaKodiranja  1    9.73    9.734   16.741 5.59e-05 ***
data$BrojOkvira:data$BrzinaKodiranja  1    4.48    4.483    7.710 0.00586 **
Residuals          284  165.14    0.581
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Slika 8 Faktorska analiza za igru Orcs Must Die

Slika 9 prikazuje tablicu srednjih vrijednosti QoE-a koja potvrđuje rezultate faktorske analize. Broj okvira zanemarivo utječe na ocjenu iskustvene kvalitete. Povećavanjem brzine kodiranja povećava se i prosječna ocjena kvalitete igranja. Kao i za igru SS3 tako i kod OMD kombinacija ova dva faktora najviše utječe na rezultate. To je očekivani rezultat jer što je bolja odnosno veća brzina kodiranja i broj okvira to su korisnici zadovoljniji kvalitetom igranja i daju veću ocjenu.

```
Tables of means
Grand mean

3.767361

data$BrojOkvira
data$BrojOkvira
  25  35  45  60
3.79 3.77 3.76 3.75

data$BrzinaKodiranja
data$BrzinaKodiranja
  3    5   10
3.58 3.70 4.02

data$BrojOkvira:data$BrzinaKodiranja
data$BrzinaKodiranja
data$BrojOkvira 3    5   10
                25 3.75 3.77 3.82
                35 3.65 3.73 3.94
                45 3.54 3.69 4.07
                60 3.38 3.63 4.26
```

Slika 9 Tablica srednjih vrijednosti QoE-a za igru Orcs Must Die

## b) Regresijska analiza

Regresijskom analizom se traži matematički izraz kojim se opisuje kako na vrijednost zavisne varijable utječe vrijednost jedne ili više nezavisnih varijabli. Potrebno je pronaći matematički izraz koji opisuje varijablu ocjene iskustvene kvalitete kao linearnu funkciju ostalih varijabli.

Prvi korak je pronalazak regresijskog modela koji bi najbolje opisao danu ovisnost. Kvalitetu modela možemo provjeriti putem koeficijenta determinacije,  $R^2$ . Koeficijent determinacije poprima vrijednost između 0 i 1 i što je bliži jedinici naš regresijski model je reprezentativniji.

Za pronalazak regresijske funkcije koristimo alat R. Potrebno je napisati skriptu koja računa regresijsku analizu i prikazuje rezultate. Slika 10 prikazuje regresijsku analizu za igru Serious Sam 3.



Sa slike možemo očitati vrijednost regresijske funkcije koja iznosi:

$$y = 3.2965 + 0.0001x + 0,0633z$$

Varijabla x označava broj okvira u sekundi, a z brzinu video kodiranja.

Koeficijent determinacije iznosi 0.05633 i predstavlja vrlo slabu reprezentativnost modela. Broj okvira po svojoj p-vrijednosti nije statistički značajan, dok je brzina kodiranja statistički značajna na zavisnu varijablu ocjene iskustvene kvalitete. Ukupna p-vrijednost modela iznosi 0.0002466 što je izrazito dobar rezultat.

```
Call:
lm(formula = data$QoE ~ data$BrojOkvira + data$BrzinaKodiranja)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.93571 -0.49260  0.06689  0.50740  1.51104

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    3.2964644   0.1764094   18.686 < 2e-16 ***
data$BrojOkvira  0.0001038   0.0034844    0.030  0.976
data$BrzinaKodiranja 0.0633013   0.0153040    4.136 4.65e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7646 on 285 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.05663,    Adjusted R-squared:  0.05001
F-statistic: 8.555 on 2 and 285 DF,  p-value: 0.0002466
```

Slika 10 Regresijska analiza za igru Serious Sam 3

Slika 11 prikazuje faktorsku analizu za igru Serious Sam 3. Faktorska analiza pokazuje jednak statistički značaj nezavisnih varijabli o zavisnoj.

```
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
data$BrojOkvira    1    0.0    0.001    0.001    0.976
data$BrzinaKodiranja 1   10.0   10.002   17.109 4.65e-05 ***
Residuals        285   166.6    0.585
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Slika 11 Faktorska analiza za igru Serious Sam 3

Nakon igre Serious Sam 3 provodimo jednaku regresijsku analizu za igru Orcs Must Die.

Slika 12 prikazuje regresijsku analizu za igru Orcs Must Die.

```

Call:
lm(formula = data$QoE ~ data$BrojOkvira + data$BrzinaKodiranja)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.58592 -0.59556  0.00099  0.41408  1.42371

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    3.4322792   0.1793784   19.134 < 2e-16 ***
data$BrojOkvira -0.0009634   0.0035410   -0.272   0.786
data$BrzinaKodiranja 0.0624537   0.0154426    4.044 6.76e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7715 on 285 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.05459,    Adjusted R-squared:  0.04795
F-statistic: 8.228 on 2 and 285 DF,  p-value: 0.0003357

```

Slika 12 Regresijska analiza za igru Orcs Must Die

Sa slike možemo očitati vrijednost regresijske funkcije koja iznosi:

$$y = 3.4323 - 0.0009x + 0.0625z$$

Varijabla x označava broj okvira u sekundi, a z brzinu video kodiranja.

Koeficijent determinacije iznosi 0.05459 i predstavlja vrlo slabu reprezentativnost modela. Broj okvira po svojoj p-vrijednosti nije statistički značajan, dok je brzina kodiranja statistički značajna na zavisnu varijablu ocjene iskustvene kvalitete. Ukupna p-vrijednost modela iznosi 0.0003357 što je također dobar rezultat.

Slika 13 prikazuje faktorsku analizu za igru Serious Sam 3. Faktorska analiza pokazuje jednak statistički značaj nezavisnih varijabli o zavisnoj.

```

              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
data$BrojOkvira    1    0.06    0.060     0.10    0.752
data$BrzinaKodiranja 1    9.73    9.734    16.36 6.76e-05 ***
Residuals        285   169.62    0.595
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Slika 13 Faktorska analiza za igru Orcs Must Die

### c) Korelacijska analiza

Korelacijski koeficijent R je broj između -1 i 1 koji pokazuje jesu li određene vrijednosti povezane na neki način. Ukoliko je R bliži 1 možemo biti sigurniji da između promatranih vrijednosti postoji pozitivna korelacija, odnosno da jedna vrijednost povećava vjerojatnost pojave druge.

U obrnutom smjeru, dakle kad je R bliži -1, možemo sa većom sigurnošću zaključiti da su promatrane vrijednosti u negativnoj korelaciji, odnosno da se vjerojatnost pojave jedne vrijednosti smanjuje povećanjem druge vrijednosti.

Kad je korelacijski koeficijent bliži 0, tada ne možemo zaključiti ništa o odnosu promatranih vrijednosti.

Koeficijent korelacije sam po sebi nekad nije dovoljan da bi dobili vjerodostojne rezultate. Primjerice, ukoliko imamo mali broj uzoraka tada koeficijent R mora biti što bliži 1 ili -1 kako bi dobiveni rezultati bili statistički značajni. Suprotno tome, za velik broj uzoraka čak i faktor blizu 0 može biti značajan.

Ovdje na scenu stupa tzv. *p-value*. Kad želimo odrediti jesu li korelacijski podaci statistički značajni koristeći faktor p, krećemo od tzv. *nulte hipoteze* koja kaže kako promatrani podaci nisu u korelaciji. Faktor p je broj između 0 i 1 koji predstavlja vjerojatnost dobivenog skupa podataka kad bi nulta hipoteza bila točna. Drugim riječima, što je vrijednost faktora p bliža 1, to je veća vjerojatnost da je nulta hipoteza točna, odnosno da promatrani podaci nisu u korelaciji. Ukoliko bi dobili malu vrijednost faktora p, to bi nam dalo indicaciju da su promatrani podaci zaista u korelaciji. Primjerice, kad bi dobili vrijednost faktora  $p = 0.01$ , taj rezultat tumačimo tako da postoji vjerojatnost od 1% za dobijanje skupa podataka koji imamo kad oni ne bi bili u korelaciji. Dakle, mala vrijednost faktora p nam govori da možemo odbaciti nultu hipotezu. Najčešće granične vrijednosti koje uzimamo za faktor p su 0.01 ili 0.05.

## SERIOUS SAM 3

Tablica 5 Serious Sam 3

Serious Sam 3	UKUPAN QoE	Grafički prikaz
Grafički prikaz	$R = 0.7767584$ $p < 2.2 * 10^{-16}$	x
Fluidnost	$R = 0.7425784$ $p < 2.2 * 10^{-16}$	$R = 0.5463974$ $p < 2.2 * 10^{-16}$

Detaljni prikazi rezultata dobivenih u alatu R:

### "Korelacija QoE - Grafički prikaz"

Pearson's product-moment correlation

```

data: data$QoE and data$Grafika
t = 20.858, df = 286, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.7263925 0.8188258
sample estimates:
      cor
0.7767584

```

Korelacijski faktor od 0.7767584 nam govori da postoji velika šansa da su QoE i grafički prikaz u korelaciji što je potvrđeno i faktorom p čija je vrijednost manja od  $p = 2.2 * 10^{-16}$ .

### "Korelacija QoE - Fluidnost"

```

      Pearson's product-moment correlation
data: data$QoE and data$Fluidnost
t = 18.75, df = 286, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.6858645 0.7903266
sample estimates:
      cor
0.7425784

```

Korelacijski faktor od 0.7425784 nam govori da postoji velika šansa da su QoE i fluidnost u korelaciji što je potvrđeno i faktorom p čija je vrijednost manja od  $p = 2.2 * 10^{-16}$ .

### "Korelacija Grafički prikaz - Fluidnost"

```

      Pearson's product-moment correlation
data: data$Grafika and data$Fluidnost
t = 11.033, df = 286, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.4598591 0.6226547
sample estimates:
      cor
0.5463974

```

Korelacijski faktor od 0.5463974 kaže da postoji dobra šansa da su grafički prikaz i fluidnost u korelaciji, iako je u ovom slučaju faktor R manji u odnosu na prošla 2 slučaja. Postojanje korelacije je potvrđeno i faktorom p čija je vrijednost manja od  $p = 2.2 * 10^{-16}$ .

## ORCS MUST DIE

Tablica 6 Orcs Must Die

Orcs Must Die	UKUPAN QoE	Grafički prikaz
Grafički prikaz	R = 0.8115436 $p < 2.2 * 10^{-16}$	x
Fluidnost	R = 0.7338787 $p < 2.2 * 10^{-16}$	R = 0.5870883 $p < 2.2 * 10^{-16}$

Detaljan prikaz dobivenih rezultata:

### "Korelacija QoE - Grafički prikaz"

```
Pearson's product-moment correlation
data: data$QoE and data$Grafika
t = 23.489, df = 286, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.7680009 0.8476183
sample estimates:
cor
0.8115436
```

Korelacijski faktor od 0.8115436 kaže da postoji jako velika šansa da su grafički prikaz i QoE u korelaciji. Postojanje korelacije je potvrđeno i faktorom p čija je vrijednost manja od  $p = 2.2 * 10^{-16}$ .

### "Korelacija QoE - Fluidnost"

```
Pearson's product-moment correlation
data: data$QoE and data$Fluidnost
t = 18.271, df = 286, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.6756050 0.7830397
sample estimates:
cor
0.7338787
```

Korelacijski faktor od 0.7338787 kaže da postoji jako velika šansa da su fluidnost i QoE u korelaciji. Postojanje korelacije je potvrđeno i faktorom p čija je vrijednost manja od  $p = 2.2 * 10^{-16}$ .

### "Korelacija Grafički prikaz - Fluidnost"

```
Pearson's product-moment correlation
data: data$Grafika and data$Fluidnost
t = 12.265, df = 286, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.5058323 0.6580177
sample estimates:
      cor
0.5870883
```

Slično kao u slučaju sa Serious Sam 3, postojanje korelacije između grafičkog prikaza i fluidnosti se ne može zaključiti sa tolikom sigurnošću kao u slučaju korelacije QoE i grafičkog prikaza, odnosno fluidnost budući da je vrijednost faktora R dosta manja od prošlih te iznosi 0.5830883. Ipak, to je i dalje preko 50% vjerojatnosti da su u podaci u korelaciji, a faktor p manji od  $2.2 * 10^{-16}$  to i potvrđuje.

### d) Grafički prikazi ovisnosti MOS-a i fluidnosti te grafičkog prikaza

Koeficijent determinacije  $R^2$  predstavlja omjer protumačenih i ukupnih odstupanja. Visina koeficijenta determinacije govori o reprezentativnosti modela – model je reprezentativniji što je  $R^2$  bliži 1:

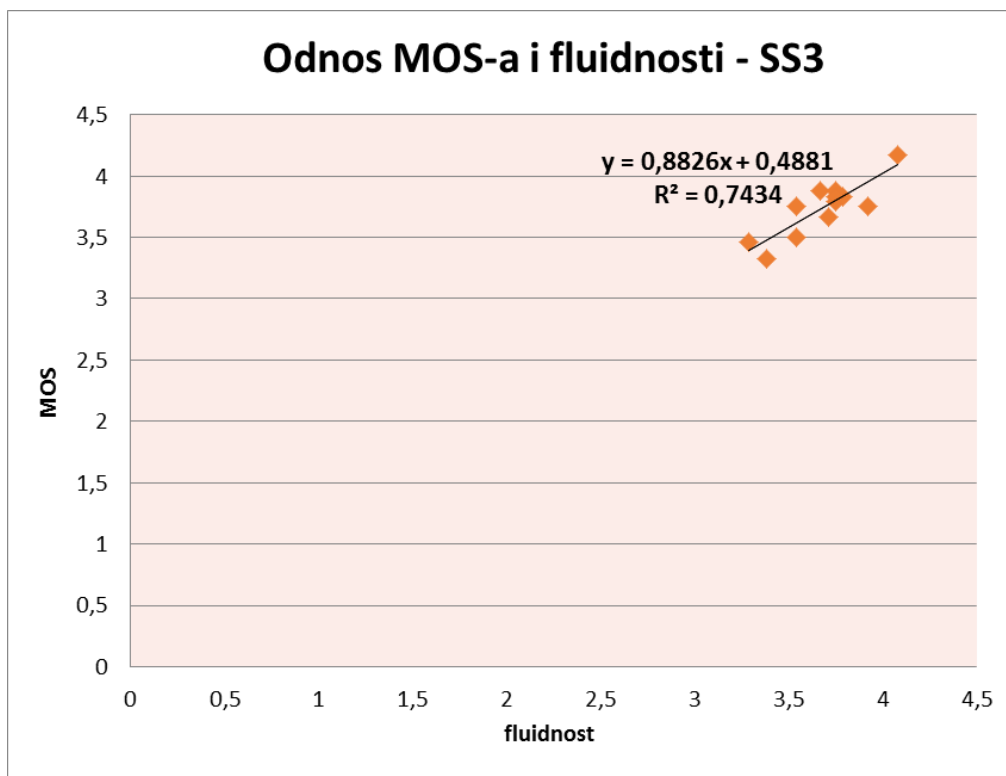
$$0 \leq R^2 \leq 1$$

Drugim riječima,  $R^2$  daje informaciju o tome koliko je jaka funkcijska veza između X-a (fluidnost, grafički prikaz) i Y-a (MOS).

### SERIOUS SAM 3

Slika 14 grafički prikazuje odnos MOS-a i fluidnosti:

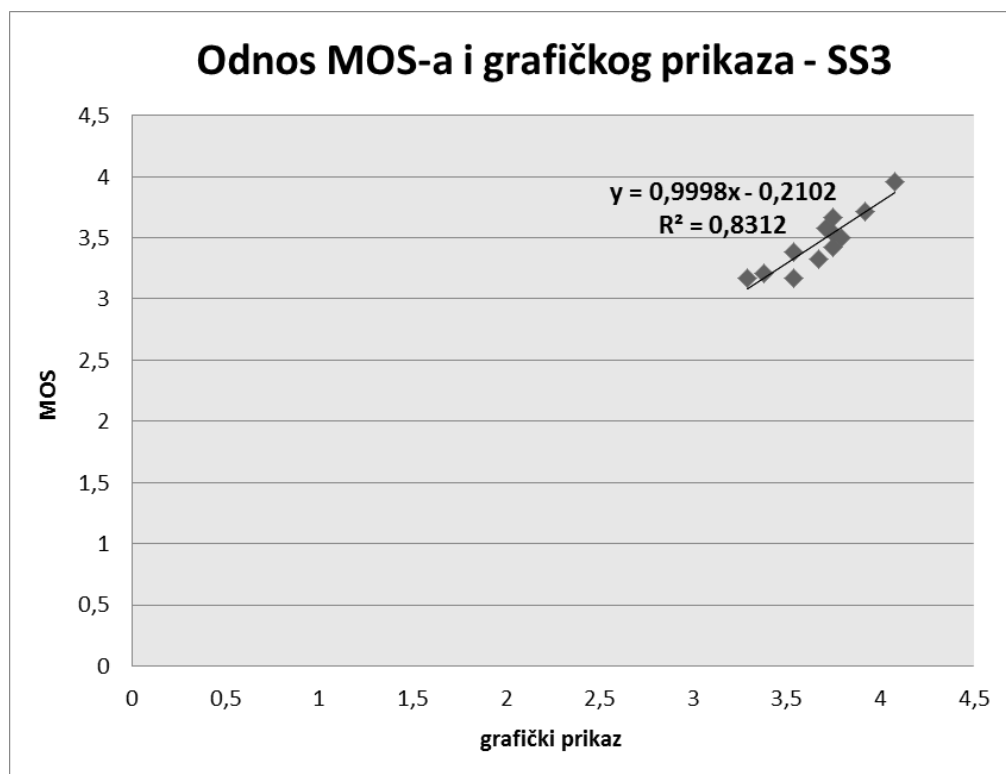
$R^2 = 0,7434$ , što znači da je 74,34% veze između ukupne ocjene iskustvene kvalitete i fluidnosti objašnjeno linearnim modelom regresije.



Slika 14 Odnos MOS-a i fluidnosti, Serious Sam 3

Slika 15 grafički prikazuje odnos MOS-a i grafičkog prikaza:

$R^2 = 0,8312$ , što znači da je 83,12% veze između ukupne ocjene iskustvene kvalitete i fluidnosti objašnjeno linearnim modelom regresije.

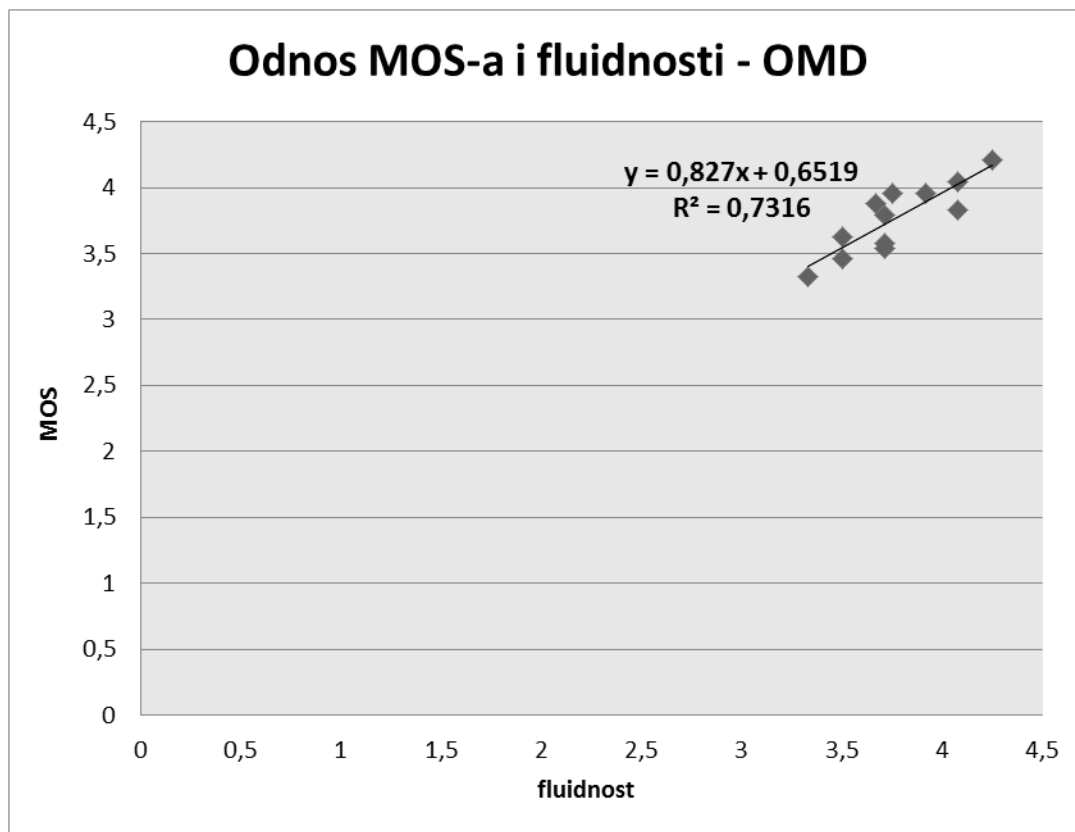


Slika 15 Odnos MOS-a i grafičkog prikaza, Serious Sam 3

## ORCS MUST DIE

Slika 16 grafički prikazuje odnos MOS-a i fluidnosti:

$R^2 = 0,7316$ , što znači da je 73,16% veze između ukupne ocjene iskustvene kvalitete i fluidnosti objašnjeno linearnim modelom regresije.

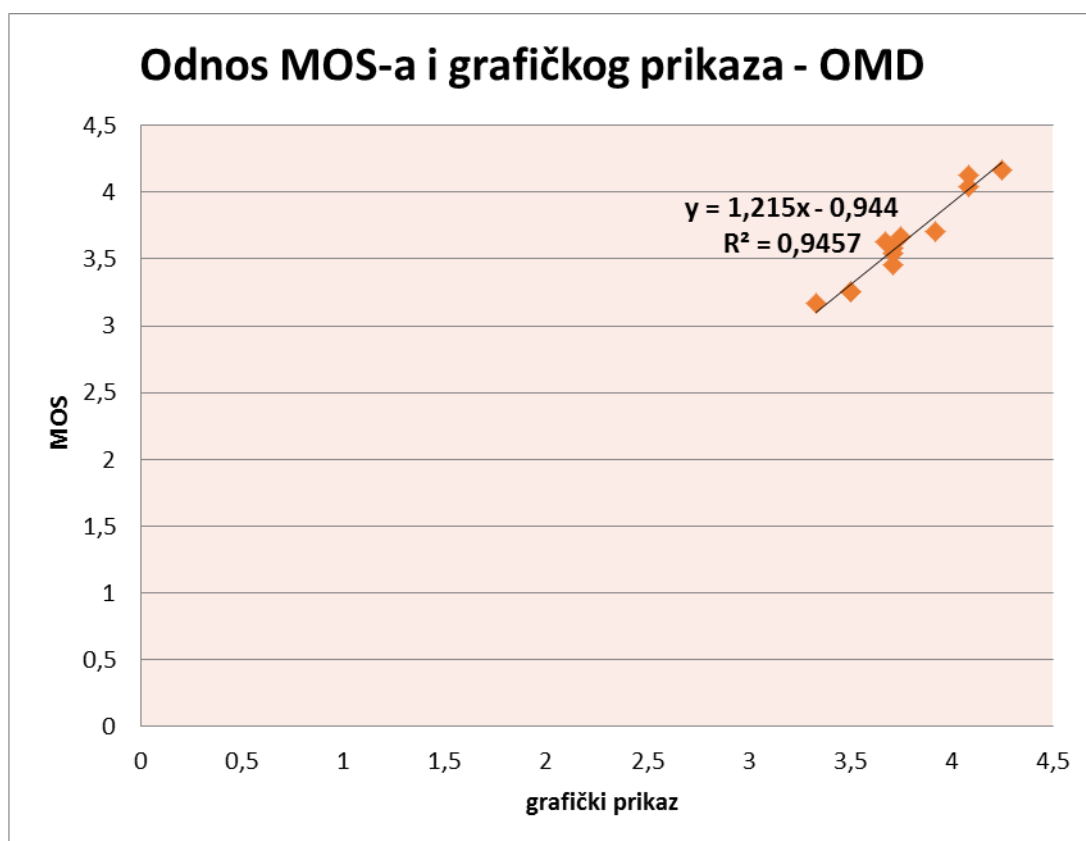


Slika 16 Odnos MOS-a i fluidnosti, Orcs Must Die

Slika 17 grafički prikazuje odnos MOS-a i grafičkog prikaza:

$R^2 = 0,9457$ , što znači da je 94,57% veze između ukupne ocjene iskustvene kvalitete i fluidnosti objašnjeno je linearnim modelom regresije.





Slika 17 Odnos MOS-a i grafičkog prikaza, Orcs Must Die

### e) Zaključak

Analiza subjektivnih ocjena pokazala je da bi većina igrača pristala nastaviti igrati igre bez obzira na različite uvjete u kojima su igre igrali. Točnije, u najgorem slučaju igranje igre Serious Sam 3 (žanr FPS) nastavilo bi ~ 62.5% igrača igrati, a igru Orcs Must Die (žanr *tower defense* RPG) nastavilo bi igrati ~ 70% igrača.

Na osnovu manjeg postotka igrača koji ne bi nastavio igrati igre u određenim uvjetima, može se odrediti krajnja granica (prosječna subjektivna ocjena) ispod koje će uvijek postojati barem jedan igrač koji ne bi pristao nastaviti igrati igru, tj. iznad koje bi većina igrača pristala nastaviti igrati u određenim uvjetima.

Za igru Serious Sam 3 najveći broj igrača koji ne bi nastavili igrati igru dobije se za prosječnu ocjenu 3,38 (9 igrača --> 37.5%) dok se najmanji broj igrača koji ne bi nastavili igrati dobije za ocjenu 4,08 (3 igrača). Dakle, krajnja granica iznad koje bi velika većina igrača pristala nastaviti igrati igru (87.5%) je prosječna subjektivna ocjena 4,08.

Za igru Orcs Must Die najveći broj igrača koji ne bi nastavili igrati igru dobije se za prosječnu ocjenu 3,5 (7 igrača --> 29.17%) dok se za ocjenu 4,25 dobije da bi svi igrači nastavili igrati igru što znači da je ta ocjena krajnja granica iznad koje bi svi igrači nastavili igrati igru u određenim uvjetima.

Kao što je vidljivo iz ranije napisanoga, razlikuju se odgovori za igre iz različitih žanrova, tj. moglo bi se zaključiti da su igrači žanra FPS osjetljiviji na smanjenje kvalitete nego igrači žanra *tower defense* RPG.