**VISOKO UČILIŠTE ALGEBRA**

ZAVRŠNI RAD

**Optimizacija prikaza 3D modela u web preglednicima**

Josip Kuštan

Zagreb, veljača 2022.

**Predgovor**

Želio bih zahvaliti profesoru Danijelu Kučaku koji me motivirao kroz proces ovog rada, kao i svima onima koji su svoje vrijeme i resurse uložili u ostvarenje ovog istraživanja. Također, želio bih zahvaliti svima koji su pomogli u poboljšanju mojih ideja i argumenata pružajući vrijedne reference i resurse. Vaša podrška i pomoć su neprocjenjive i iznimno cijenjene. Također bi se volio zahvaliti mami i tati.

**Prilikom uvezivanja rada, Umjesto ove stranice ne zaboravite umetnuti original potvrde o prihvaćanju teme završnog rada kojeg ste preuzeli u studentskoj referadi**

**Sažetak**

Rad prolazi kroz proces izrade produkta kao temelj na kojega se može osloniti istraživanje o korisničkom iskustvu postojećih rješenja i produkta koji se izrađuje, u ovom slučaju galerije digitaliziranih 3D radova. Također se promatraju tehnologije koje mogu optimizirati put do kreiranja 3D modela, te njegovog prikaza na pristupačan i jednostavan način. Analiza kvalitativnog istraživanja daje uvid u bitne segmente korisničke percepcije o digitalnom 3D svijetu i njihovim potrebama. Time se dolazi do strukturiranih zaključaka, što je potrebno kako bi omogućili optimizirani prikaz za korisnika.

Izradom prototipa i programskog rješenja pokušava se potvrditi mogućnost apliciranja nekih zaključaka kvalitativnog istraživanja, te vidjeti koliko se vjerodostojno može prikazati 3D objekt na internetskom pregledniku, uzimajući u obzir pristupačnost i jednostavnost procesa.

**Ključne riječi:** Kvalitativno istraživanje, testiranje korisnosti, 3D objekt, prototipiranje

**Summary**

The paper goes through the process of creating a product as a foundation to build research on the user experience of existing solutions and the product being developed, in this case, a gallery of digitized 3D works. Technologies that can optimize the process of creating 3D models and displaying them in an accessible and user-friendly way are also examined. The analysis of the qualitative research provides insights into the critical aspects of user perception of the digital 3D world and their needs. This leads to prioritized conclusions necessary to enable an optimized 3D model viewing experience on the web for the user.

By creating a prototype and a software solution, the aim is to confirm the possibility of applying some of the conclusions from the qualitative research and to see how accurately a 3D object can be displayed on a web browser, taking into account accessibility and the simplicity of the process.

**Key words:** Qualitative research, usability testing, 3D object, prototyping

**Sadržaj**

[1. Uvod 1](#_Toc128096094)

[2. Digitalni 3D modeli 2](#_Toc128096095)

[2.1. Karakteristike i struktura digitalnih 3D objekata 2](#_Toc128096096)

[2.1.1. „Točka“ je sve 2](#_Toc128096097)

[2.1.2. Linija 2](#_Toc128096098)

[2.1.3. Poligon 3](#_Toc128096099)

[2.1.4. Rubovi 3](#_Toc128096100)

[2.1.5. Lice 3](#_Toc128096101)

[2.1.6. Mreža 3](#_Toc128096102)

[2.1.7. Teksture 3](#_Toc128096103)

[2.1.8. UV mapa 4](#_Toc128096104)

[2.2. Elementi digitalne scene 4](#_Toc128096105)

[2.2.1. Svjetla 4](#_Toc128096106)

[2.2.2. Kamera 5](#_Toc128096107)

[2.2.3. Prostor 5](#_Toc128096108)

[3. Problem koji se rješava ovim radom i dokaz koncepta 6](#_Toc128096109)

[3.1. Vjerodostojno pregledavanje 3D objekata 6](#_Toc128096110)

[3.2. Zahtjevi procesa 6](#_Toc128096111)

[3.3. Digitalna galerija 3D umjetnina 6](#_Toc128096112)

[3.4. Inicijalni prototip ideje 7](#_Toc128096113)

[3.5. Definiranje Informacijske arhitekture 7](#_Toc128096114)

[3.5.1. Razumjeti korisnika produkta 8](#_Toc128096115)

[3.5.2. Definiranje sadržaja, kategorizacija i prioritizacija 8](#_Toc128096116)

[3.5.3. Mapiranje aplikacije i gruba definicija navigacije 9](#_Toc128096117)

[3.5.4. Validiranje Informacijske arhitekture 9](#_Toc128096118)

[4. Provedba i analiza kvalitativnog istraživanja 12](#_Toc128096119)

[4.1. Tko su ispitanici 12](#_Toc128096120)

[4.2. Opće znanje o digitalnom 3D svijetu 13](#_Toc128096121)

[4.2.1. Kada čujete "3D" što Vam padne na pamet? 14](#_Toc128096122)

[4.2.2. Što je za Vas digitalni model? 14](#_Toc128096123)

[4.2.3. Gdje mislite da se najviše koriste? 14](#_Toc128096124)

[4.2.4. Jeste li ih vi koristili? 14](#_Toc128096125)

[4.2.5. Koju vi korist dobivate od njih? A koju mislite da općenito donose? 14](#_Toc128096126)

[4.2.6. Gdje je zadnje mjesto gdje se sjećate da ste se susreli s digitalnim modelima? 14](#_Toc128096127)

[4.3. Testiranje korisnosti postojanih rješenja i prototipa 13](#_Toc128096128)

[4.3.1. Vrijeme učitavanja 17](#_Toc128096129)

[4.3.2. Interakcijski dizajn sa scenom 18](#_Toc128096130)

[4.3.3. Utjecaj ambijenta scene na korisničko iskustvo 21](#_Toc128096131)

[4.3.4. Utjecaj kontrola na korisničko iskustvo 22](#_Toc128096132)

[4.3.5. Interakcijski dizajn s drugim elementima ekrana 23](#_Toc128096133)

[4.4. Korisničke potrebe digitalne galerije 24](#_Toc128096134)

[5. Kreiranje digitalnog 3D modela pristupačnim metodama 25](#_Toc128096135)

[5.1. Digitalno kiparstvo 25](#_Toc128096136)

[5.2. 3D Skeniranje objekata 26](#_Toc128096137)

[5.2.1. LiDAR 27](#_Toc128096138)

[5.2.2. Fotogrametrija 27](#_Toc128096139)

[5.3. Korišteni alati 28](#_Toc128096140)

[5.3.1. Polycam 28](#_Toc128096141)

[5.3.2. Reality Capture i Meshroom 28](#_Toc128096142)

[6. Specifičnosti prikaza 3D modela u internet preglednicima 29](#_Toc128096143)

[6.1. Definiranje potrebnih metrika za odabir tehnologije 3D prikaza 29](#_Toc128096144)

[6.2. Odabir tehnologije 29](#_Toc128096145)

[6.2.1. Razlike između Three.js i Babylon.js biblioteka 30](#_Toc128096146)

[6.3. Upoznavanje sa odabranom tehnologijom 31](#_Toc128096147)

[7. Implementacija programskog rješenja 32](#_Toc128096148)

[Zaključak 33](#_Toc128096149)

[Popis kratica 35](#_Toc128096150)

[Popis slika 36](#_Toc128096151)

[Popis tablica 37](#_Toc128096152)

[Popis kôdova 38](#_Toc128096153)

[Literatura 39](#_Toc128096154)

[Prilog 41](#_Toc128096155)

# Uvod

U modernom dobu, korištenje digitalnih platformi, modeliranje i vizualizacija objekata postaju sve češća pojava. Unatoč općoj dostupnosti, brzini i niskoj cijeni, fotografije ne pružaju potpunu sliku objekta. Modeliranje i vizualizacija u 3D formatu pružaju gledatelju više perspektiva objekta i pridonose njegovoj kvalitetnijoj prezentaciji. U ovom kontekstu, promatračima je važna pristupačnost 3D modela na digitalnim platformama. Međutim, rješenja koja zadovoljavaju ove karakteristike su rijetka, a izazovi se protežu od tehnološke složenosti do prikaza na web preglednicima. Cilj ovog rada je provesti kvalitativno istraživanje kako bi se otkrila i razvila optimalna platforma za dijeljenje 3D digitalnih modela, uz analizu postojećih rješenja i prikupljanje povratnih informacija korisnika o korištenju platforme.

# Digitalni 3D modeli

Kako bi prolazak kroz rad bio jednostavniji, potrebno je biti upoznat s osnovama 3D svijeta. Digitalni 3D model je računalna reprezentacija objekta ili prostora koji se sastoji od trodimenzionalnih elemenata, poput poligona ili drugih preciznijih matematičkih reprezentacija. Neke od mnogobrojnih primjena ovih modela su: arhitektura, dizajn proizvoda, animacija i video igre. Oni se mogu izraditi koristeći različite alate i softvere za 3D modeliranje, 3D skeniranje i mnoge druge.

## Karakteristike i struktura digitalnih 3D objekata

Svaki objekt posjeduje svoje karakteristike, one mogu određivati veličinu, položaj oblik i još mnogo toga ovisno o kontekstu uporabe.

U 3D modeliranju, točka (engl. "vertex") predstavlja najmanju jedinicu 3D geometrije i označava mjesto u prostoru. Omogućuje definiranje oblika, veličine i položaja objekta u prostoru, kao i modifikaciju tog oblika i položaja kroz proces modeliranja. Ona predstavlja najmanju moguću količinu informacije koja se može pohraniti o položaju objekta u prostoru. Točka je izuzetno jednostavna i fleksibilna jedinica, što omogućava kreiranje različitih oblika i struktura koristeći minimalne količine podataka. Točke se mogu spajati i pretvarati u linije, poligone i složenije strukture.

Spajanjem dvije točke dobiva se linija, prvu dimenziju. Linija je element koji se sastoji od dvije ili više točaka koje su povezane, i ona omogućuje definiranje oblika i položaja objekta u prostoru. Linije se koriste za definiranje rubova i stranica 3D objekta, kao i za kreiranje detalja na površini objekta.

Ako se spoji više točaka, na način da nastane više linija koje se zatvaraju, dobije se poligon. Oni omogućuju definiranje oblika i veličine objekta u prostoru. Poligoni se koriste za kreiranje površina 3D objekta.

U 3D modeliranju, linije i rubovi (engl. "Edges") poligona su različiti pojmovi, iako su povezani. Dakle, svaki poligon se sastoji od linija koje se spajaju u 2D oblik, a te linije se nazivaju rubovi poligona. Ukratko, svi rubovi poligona su linije, ali nisu sve linije rubovi poligona.

Lice (engl. "Face") je površina poligona. Na lice se najčešće stavljaju razne karakteristike koje dodaju mnoge vizualne elemente digitalnom objektu.

Mreža (engl. "Mesh") označava strukturu koja se sastoji od višestrukih poligona koji se povezuju kako bi se stvorio 3D oblik objekta. Te poligone čine lica ili površine koji definiraju oblik objekta. Koristi kao osnova za 3D modeliranje i ima važnu ulogu u kreiranju i modifikaciji ili stvaranju različitih vrsta objekata poput likova, arhitektonskih objekata, automobila, proizvoda i terena.

Tekstura (engl. "Texture") je slika koja se koristi za davanje boje, teksture i drugih detalja površini 3D objekta. To se postiže tako da se tekstura mapira na lice poligona. Omogućuje stvaranje realističnijeg ili stiliziranijeg izgleda objekta.

Postoje mnoge tehnike teksturiranja objekta

Bitmap tekstura, slika koja se koristi za davanje teksture površini objekta.

Proceduralne teksture: algoritam koji generira teksture na temelju matematičkih formulacija, bez upotrebe slika.

Mapiranje izbočina (engl. "Bump mapping”) je tehnika koja simulira uzorak površine objekta, bez da se mijenja geometrija, točnije mreža objekta.

Mapiranje istisnina (engl. "Displacement mapping”) je tehnika koja simulira promjene u geometriji objekta, kako bi se generirao višestruki uzorak površine.

UV mapa je 2D reprezentacija lica poligona 3D objekta, koja se koristi za mapiranje teksture na površinu objekta. UV koordinate svake točke na lice poligona određuju na koji dio teksture se ta točka mapira. Ova mapa se koristi kod UV odmatanja, procesa gdje se lice poligona pretvara u 2D oblik koji se koristi za teksturiranje.

UV mapiranje je važno zbog toga što omogućuje kontrolu nad točnim mjestom gdje se tekstura mapira na objekt. To je ključno za stvaranje realističnog izgleda objekata koji su teksturirani, i omogućuje kontrolu nad teksturama i bojama objekta.

## Elementi digitalne scene

Digitalna scena je virtualna reprezentacija okoliša ili prostora. To može uključivati modele objekata, teksture, osvjetljenje, kamere, i druge elemente koji čine realistični izgled i osjećaj.

Svjetlo igra važnu ulogu u digitalnim scenama, jer omogućuje stvaranje realističnijeg izgleda i osjećaja. Postoji nekoliko vrsta svjetla koji se mogu koristiti u digitalnim scenama:

* Ambijentalno svjetlo: ovo svjetlo daje osnovni ton cijeloj sceni, i često se koristi kako bi se postigao blagi, jednolični osjećaj.
* Direktno svjetlo: ovo svjetlo daje jak izvor svjetla, kao što su sunce ili svjetiljke. To se često koristi za određivanje glavnih pravaca svjetla u sceni.
* Difuzno svjetlo: ovo svjetlo se koristi za davanje svjetla objektima u sceni, a ne samo na njima.
* Spekularno svjetlo: Ovo svjetlo daje odraz svjetla na objektima u sceni, koji izgleda kao sjaj ili metalni izgled.

Svjetlo se također može postaviti kako bi se simulirali različiti efekti, kao što su osvjetljenje u prostoru ili izlazak sunca.

Kamera je objekt koji pruža sredstvo za renderiranje slika. Definira koji je dio scene vidljiv na renderiranoj slici. Kamere su nevidljive, tako da nemaju nikakve postavke materijala ili tekstura.

Prostor u digitalnim scenama omogućuje stvaranje osjećaja dubine i razmjera u okolišu. Prostor se može definirati na različite načine u digitalnim scenama, ali trenutno se drži koncentracija na 3D prostor. To je virtualni prostor u kojem se kreira i prikazuje 3D objekt, a koji se sastoji od x, y, i z koordinata.

Jedan od zanimljivih pristupa kreiranja realističnih prostora je korištenjem slika visokog dinamičnog raspona ili HDRI (engl. High dynamic range imaging). Zahtijeva snimanje i spajanje više fotografija koje su fotografirane raznim ekspozicijama svjetla. Takve slike sadrže veliki broj informacija i detalja. Zbog toga se često koriste za postizanje realističnog osvjetljenja i refleksija u digitalnim scenama.

# Problem koji se rješava ovim radom i dokaz koncepta

## Vjerodostojno pregledavanje 3D objekata

U posljednjih nekoliko godina porasla je popularnost digitalnih platformi, što čini modeliranje i vizualizaciju objekata iznimno važnima. Fotografija se često koristi kao tradicionalan i opće poznat dvodimenzionalni prikaz. Fotografija je dostupna, brza i jeftina u pogledu potrošnje vremena i resursa. Međutim, uz sve navedene pozitivne karakteristike, ne može realno prikazati sve detalje objekata, što često otežava kvalitetnu vizualizaciju. Ključno u modeliranju i vizualizaciji objekata je pružanje promatraču više od jedne perspektive objekta, a dodatnu vrijednost pruža mogućnost pregledavanja objekta kroz rotaciju, premještanje i osvjetljenje.

## Zahtjevi procesa

Za smislenu analizu rješenja su potrebni konkretni i izvedivi materijali koje će se testirati. Prikazivati digitalno modelirane 3D objekte se čini kao optimalan pristup, no malo ljudi ima znanja digitalno modelirati. Danas postoje razni pristupačniji načini digitalne 3D izrade objekta. Skeniranje novo dostupnim senzorima na mobilnim uređajima i sastavljanje 3D modela pomoću fotografije. Zahtjev je koristiti pristupačne metode kako bi mogli zaključiti zrelost tehnologija za široku uporabu.

## Digitalna galerija 3D umjetnina

Pretpostavka je da ljudi 3D objekte žele promatrati iz više perspektiva te imati interakciju s njima, što je već navedeno da ne možemo s fotografijom. Postoje razna rješenja koja prikazuju digitalne modele. Ti modeli su najčešće digitalno modelirani ili skenirani nepristupačnom tehnologijom kao što je skeniranje laserskom triangulacijom ili strukturiranim svijetlom. Jedan od ciljeva rada je proći kroz cijeli proces i pronaći optimalan pristup te definirati kvalitetu samoga pristupa.

Praktični cilj je kreirati galeriju 3D umjetnina, na kojoj će se testirati razni pristupi prikazivanja digitalnih modela. Potrebno je uzeti u obzir da za prikazivanje 3D objekta nije dovoljno imati samo prikazani objekt nego i kvalitetno korisničko iskustvo. Zbog ograničenja tehnologije i pretpostavki korištenja koje će imati utjecaja na korisničko iskustvo potrebno se osloniti na optimizaciju okruženja. To se može postići korištenjem raznih tehničkih i psiholoških metoda.

## Inicijalni prototip ideje

Figma je popularni alat za izradu dizajna korisničkih sučelja i prototipiranje aplikacija i stranica. Korištenjem Figme dobiva se bolja vizualizacija te prikaz svih potreba i očekivanja korisnika, čime se određuje opseg posla.

U toj fazi, cilj je bio iterativno razvijati dok se ne dođe do minimalno održivog produkta ili MVP-a (engl. Minimal Viable Product )

U početku izrade prototipa koriste se pretpostavke i sekundarna istraživanja. Za optimalan MVP je potrebno odraditi primarno istraživanje.

Odabrana metoda je kvalitativni intervju i testiranje korisnosti (engl. Usability testing). Ove metode pripadaju primarnom istraživanju zato što se prikupljaju informacije izravno iz glavnog izvora, odnosno, potencijalnog korisnika produkta. U ovom slučaju digitalne 3D galerije.

## Definiranje Informacijske arhitekture

Prije prototipiranja potrebno je imati okvir u kojem se prototip kreira, a to se postiže definiranjem Informacijske arhitekture.

Informacijska arhitektura ili “IA” je proces koji sadrži organizaciju, strukturiranje i označavanje sadržaja uzimajući u obzir pogled korisnika. Cilj je olakšati korisniku pronalazak informacija ili izvršavanje zadataka. IA ima veliku ulogu u kvalitetnom definiranju strategije sadržaja, dizajnu korisničkih sučelja, skiciranju i prototipiranju. S obzirom da je definiranje informacijske arhitekture velik i kompleksan proces, koristit će se principi i pojednostavljeni pristupi koje to područje zahtjeva kako bi što brže došlo do minimalno održivog produkta.

Strategija definiranja IA može se produbiti na puno načina. Uzet je općeniti pristup koji se dodatno pojednostavio kako bi se bolje slagao s potrebama produkta. Strategija zahtjeva akcije i odgovore na sljedeća pitanja:

### Razumjeti korisnika produkta

Potrebni su odgovori na sljedeća pitanja:

* Tko će koristiti produkt?
* Što će korisnici raditi?
* Što korisnici žele postići?

U ovom slučaju često se koriste metode definiranja korisničkih persona (engl. User Persona), empatijske mape i slično, koje omogućavaju duboko razumijevanje korisnika. Iako su korisne metode, za ovaj primjer nisu optimalne. Koristiti će se stavke tih metoda, kao što su intervjui s korisnicima, kako bi se brzo mogle raditi promjene na prototipu. Početno stanje je određeno pretpostavkom prema kojoj se korisnici mogu podijeliti na one s umjetničkim znanjem i vještinama te na one bez njih.

### Definiranje sadržaja, kategorizacija i prioritizacija

U ovom koraku se raspisuje sav sadržaj koji se planira prikazivati korisniku. Sadržaj, kako bi imao smisla, je potrebno kategorizirati. Smislenost sadržaja je bitna, no ne može ići bez prioritizacije istog.

Sadržaj je podijeljen u 3 najveće kategorije, u ovom slučaju kategorija predstavlja ekran aplikacije.

* Početna kategorija je prikaz digitalnog modela, odnosno umjetnine. Početna stranica sadrži samu scenu digitalnog modela, element koji sadrži informacije o radu, kao što je datum izrade, način izrade i dodatne proizvoljne opise rada, kao što su zanimljivosti i inspiracije.
* Produkt je galerija jedne osobe. Zahtjeva ekran koji daje sve informacije o njoj. To postižemo ekranom “O Osobi”. Prikazujemo imena umjetnika, točnu profesiju, zanimljivu rečenicu koja bi mogla potaknuti korisnika na daljnje čitanje, fotografija umjetnika i detaljnija biografija.
* Zadnja kategorija, a ujedno i ekran je “Kontakti” Ovdje je cilj naglasiti sve načine kontaktiranja osobe, te omogućiti daljnje istraživanje o njoj na drugim platformama. Također je potrebno imati rezervirano mjesto za opis usluga i cjenika.

Ekrani su navedeni po prioritetu.

### Mapiranje aplikacije i gruba definicija navigacije

Mapa stranice (engl. Sitemap) postavlja vizualnu hijerarhiju sadržaja koja se kreira s već grupiranim i prioritiziranim sadržajem koji je definiran u prethodnom koraku. Uz vizualizaciju postavlja se i navigacija kroz stranice.

### Validiranje Informacijske arhitekture

Potrebno je uzeti u obzir da je trenutna IA određena na temelju pretpostavki i pristranim naklonostima. Ispravnost tako definirane informacijske arhitekture provjerit će se pomoću prototipa aplikacije koji će biti predstavljen i testiran s korisnicima.

Očekuju se dobiti pogledi korisnika i iterirati početno stanje IA-a po zaključcima. Svaka iteracija prati sve već navedene korake kako bi se došlo do ispravne promjene prototipa koja prati korisnikove zahtjeve.

Graphical user interface, application

Description automatically generated

Diagram

Description automatically generatedGraphical user interface, application, Teams

Description automatically generated

# Provedba i analiza kvalitativnog istraživanja

Kroz kvalitativni intervju jedan od ciljeva je saznati upoznatost ispitanika s digitalnim 3D svijetom. Ispitanicima su se predstavila već postojeća rješenja na internetu, čime se otkrivaju stvarna ponašanja korisnika. Mnogo se može saznati promatranjem njihovih manira dok prolaze kroz rješenja, te komentarima uzrokovanim očekivanim ili neočekivanim ponašanjima. Pomoću toga se može unaprijed stvoriti razumijevanje problema s kojima se susreću i na kraju vidjeti koliko je potrebna i ispravna ideja produkta.

Na samome početku intervjua predstavlja se što će se raditi, opušta se atmosfera. Jako je bitno naglasiti da se ne testira ispitanike nego produkt i ideja. Dodatno se naglašava kako nema krivih odgovora, te kako je važno da budu iskreni. Često ispitanici prekrivaju neka svoja promatranja kako ne bi povrijedili nečiji rad. Potiče se iskrenost, rasprava, pitanja u bilo kojem trenutku, a ako je moguće potiče se razmišljanje na glas.

4/5 razgovora se snimalo kako bi se kasnije moglo pregledavati i dodatno izvlačiti informacije. Svaki put se ispitanika pitalo je li to u redu. Jednom ispitaniku nije bilo ugodno snimati razgovor. Kako bi se dobile što kvalitetnije informacije potrebno je imati ugodnu atmosferu i ispitanika voljnog za razgovor.

Intervju počinje s pitanjima o profesiji, godinama i interesima ispitanika. Kreće se od osobnih pitanja kako bi se definiralo potencijalno pozadinsko znanje, na temelju kojeg je moguće dobiti korisne informacije. Na njih se referencira tijekom intervjua, primjerice može se preformulirati pitanje kako bi bilo lakše shvatljivo tom konkretnom ispitaniku.

Također pomoću toga možemo napraviti podjelu korisnika ovisnu o umjetničkom znanju.

## Tko su ispitanici

Skupina ljudi s kojima su provedeni intervjui sastoji se od 5 osoba, od kojih su 4 studenti. Fakulteti koje pohađaju se razlikuju, računalne znanosti, medicinske znanosti i arhitektura. Jedan ispitanik je profesionalni umjetnik koji se bavi kreiranjem i oslikavanjem minijatura. Dva ispitanika se amaterski bave umjetnošću, dok zadnja dva nemaju prevelika znanja ili vještina. Raspon godina je od 21 do 32 godine.

## Opće znanje o digitalnom 3D svijetu

U sljedećim točkama će se pokriti set pitanja s ciljem upoznavanja ispitanikovog znanja o 3D svijetu. Pitanja su posložena na način da je jednostavno nastaviti razgovor postavljanjem sljedećeg. Uz osobna pitanja, ova mogu dodatno povećati znanje o ispitaniku, te pomoći oko postavljanja lakše razumljivih pitanja specifičnom ispitaniku.

### Kada čujete "3D" što Vam padne na pamet?

* “Predmet i stvar koju si možemo predočiti u 3 dimenzije” Filmografija -PN
* 3D Film “Oni s naočalama” -IŠ
* “Modeliranje na kompjuteru. Modeli koji se printaju” - AP
* Film, prostor i objekti Film najviše povezuje, spominje 3D filmove i efekte u 3D. -AB
* “Video isječak igrice i filma. Koji je u 3 dimenzije. FPS shoter i ostale igrice”. Spomenuo je 3D ispis i na kraju naglašava animacije.

Ispitanici s manje znanja o temi prvo navode industriju zabave. Prva asocijacija im je film, odnosno filmovi s 3D efektom.

### Što je za Vas digitalni model?

* “Nešto napravljeno u kompjuteru” -IŠ
* Zna za programe za 3D modeliranje. Spominje digitalni oblik, ali nije sigurna je li to ista stvar. -PN
* “3D model koji je napravljen digitalno, može biti i scan…”. Nije skroz sigurna pošto je više u fizičkom modeliranju. Smatra da su modeli i 3D ispisp pristupačna tehnologija. - AP
* “Puno toga. Prvo objekt napravljen u 3D softveru, koji se može okretati…”. Spominje prometne znanosti i shvaća da vjerojatno mnogo drugih. - AB
* Model koji se ne radi fizičkom rukom nego digitalno u nekom programu - DK

Kada se direktno spominje digitalni model svi ispitanici su naveli da je model ili objekt napravljen pomoću računala. 2/5 ispitanika, iako su čuli da postoje alati za kreiranje modela, nisu upoznati s procesom. Ispitanik s bliskom profesijom spominje skeniranje stvarnih objekata. Možemo zaključiti da većina ispitanika nije upoznata sa skeniranjem na razini prepoznatljivosti iako je postalo relativno pristupačno proteklih godina.

### Gdje mislite da se najviše koriste?

* Vizualizacija stvari, VR i AR u trgovinama i dizajn interijera -IŠ
* “3D printanje, arhitektura i strojarstvo”. Komentira automobilsku industriju i reklame. -PN
* “Najvjerojatnije za prototipe stvari i predmeta.” Prvo joj padnu na pamet dijelovi za strojeve i arhitektura. - AP
* Opis složenijih stvari, izrada objekata, predstavljanje stvari- govori o znanosti, reprezentaciji stvarnog svijeta i kompleksnim grafovima. - AB
* “U igricama najviše, animacije, film i CGI” - DK

Najveći fokus je na vizualizaciji prostora. U to ulazi dizajn interijera i građevina. Ispitanici zatim spominju izradu i vizualizaciju kompleksnijih objekata u strojarstvu i automobilskoj industriji. Zapaženo je kako ispitanici nabrajaju njima kompleksnije primjene, a dvoje ispitanika je nakon toga shvatilo kako se vjerojatno koriste i za jednostavnije predmete. Prije intervjua je pretpostavljeno da će ispitanici najviše spominjati korist u industriji zabave, posebno podržano zaključkom da svi prvo riječ “3D” povezuju s filmom. Na kraju je samo jedan ispitanik spomenuo film i općenitu industriju zabave. To ponašanje možda može biti objašnjeno zbog korištenja “najviše koriste” u pitanju i potencijalne asocijacije na korisnost digitalnog modela. Pitanje nije postavljeno jasno i ne može se doći do konkretnih zaključaka, ali je zanimljivo vidjeti kako većina ispitanika asocira digitalne modele s kompleksnijim stvarima.

### Jeste li ih vi koristili?

* Koristila je nešto za simulacije voda i cjevovoda na fakultetu. -IŠ
* “Ne” - PN
* Koristi, ali nije radila digitalni model. Naručivala i kupovala da neko drugi odradi 3D ispis. Planira se više ubaciti u 3D ispis. -AP
* Na arhitekturi je koristila SketchUp i rhino. Izrada prostora i objekata. Radila je čajnik i govori kako joj je bilo zanimljivo što nešto možeš vidjeti na taj način a da nije stvarno. - AB
* Nije nikada, nije imao priliku digitalno modelirati. Ali vidio je prijatelje kako modeliraju. -DK

3/5 ispitanika je svjesno da koriste digitalne modele i nabrojali su konkretne primjere, dok preostala dva ispitanika smatraju da ih nikada nisu koristili. Međutim, kroz ostatak intervjua s jednim od ispitanika, saznaje se kako je ispitanik ipak došao u doticaj s digitalnim modelom kod 3D prikaza anatomije tijela. Ispitanik je također naglasio kako preferira takav način prikaza te kako je pomoću njega učenje bilo efikasnije. S obzirom da je značenje digitalnog modela vrlo široko, skoro svaki ispitanik se susreo s digitalnim modelom na neki način. Kroz razgovore s ispitanicima moglo se doći do zaključka kako nisu svjesni da koriste digitalne modele, što može biti uzrokovano nepoznavanjem samoga značenja digitalnog modela.

### Koju vi korist dobivate od njih? A koju mislite da općenito donose?

* Kaže kako ne zna, nagađa da je vjerojatno njihova primjena važna za film i druga područja koje je već nabrojala - IŠ
* Ona nema koristi od njih, ali misli da općenito olakšavaju vizualizacije u 3D-u, primjerice kod dizajna prostora. Kasnije se otkriva da su joj neki prikazi olakšavali učenje - PN
* Koristi joj u profesionalnom životu, ali smatra da će joj kasnije biti “brutalno korisno”. “Općenito se svakodnevica olakšava”. Ovdje se pretpostavlja kako misli na lakoću 3D ispisa i kako mogu biti korisni u svakodnevici. - AP
* “Perspektiva u crtanju, pošto ga možeš okretati… Dosta koristi za dizajnere, mogu se igrati bez da troše materijal i troše, big scale stvari bez da troše prostor, proizvodnja igrica filmova i slično.” - AB
* “Samo zabava.” Smatra da je industrija koja lagano pretvara maštu u novac. “Može biti i 2D, ali meni je 3D lijep. Zato što nije toliko ograničeno” - DK

2/5 ispitanika, koja su također manje vješta i upoznata s temom smatraju da oni osobno nemaju koristi, međutim kroz razgovor je otkriveno kako jedan od njih ipak ima koristi tijekom učenja. Druga dva ispitanika koja se mogu smatrati više upoznatim s materijom također smatraju da imaju puno koristi u poslovnom i privatnom životu. Pitanje “**A koju mislite da općenito donose?**” je potencijalno redundantno s pitanjem “**Gdje mislite da se najviše koriste?”.** Moglo se primijetiti već nakon drugog ispitanika da smatraju kao da su odgovorili na to pitanje, zbog toga se moglo maknuti iz kvalitativnog istraživanja kako bi tok razgovora bio prirodniji. Pretpostavka je bila da će kroz razgovor ispitanici napraviti dodatne poveznice. Može se primijetiti kako se odgovori većinski ponavljaju, dok je 3/5 korisnika, koji su više upoznati s temom, izneslo i dodatna razmišljanja. Naglasili su široku korist, lakoću, kreativnost i pristupačnost 3D tehnologija.

### Gdje je zadnje mjesto gdje se sjećate da ste se susreli s digitalnim modelima?

* Ne sjeća se a da nije bilo ovo što je rekla - IŠ
* Smatra da ne primjećuje s obzirom da nije upoznata s time. - PN
* Jučer je naručila uslugu 3D ispisa. Patreon ljudi koji digitalno modeliraju. - AP
* Traženje referenci tijela i kada je vidjela od drugih na društvenim mrežama - AB

Jedan ispitanik je kroz razgovor skrenuo s konkretnog pitanja. Percepcija ispitanika se može shvatiti kao ne shvaćanje pitanja ili nedovoljno znanje o temi. Nije bilo prirodno vraćati razgovor, zbog toga se neće koristiti dani odgovori.

Originalna pretpostavka je bila da će se kroz razgovor o temi raspoznati postajanje 3D modela u još situacija oko ispitanika, no ipak ovo pitanje nije donijelo takve rezultate.

## Testiranje korisnosti postojećih rješenja i prototipa

Nakon razgovora o općem znanju digitalnog 3D svijeta ispitanici su imali priliku prolaziti kroz postojeća rješenja na web stranicama. Naglašeno je ponovo da se ne testira njih već stranice koje koriste. Cilj je promatrati kako se ispitanik ponaša u određenim situacijama, koja su njegova zapažanja i interesi te zaključiti koji su najveći problemi pri korištenju tih stranica. Svrha navedenog je postavljanje konkretnih potreba rješenja koji se ovim radom razvija te uočavanje informacija koje će pomoći pri prioritizaciji.  
Koriste se dvije portfolio stranice, prva sadrži razne scene gdje kreator testira razne mogućnosti 3D web tehnologija. Na njoj je ispitaniku dozvoljeno da sam odabire scene koje su prikazane na početnoj stranici, a zatim su im zadani zadaci ako već sami nisu došli do određenih primjera. Postoje dvije scene koje su bile temelj zadataka za svakog ispitanika, one su prikazane (Referenca na pdf).

Druga stranica koja se koristi u testiranju je inovativan način prezentiranja tehnologije i njene mogućnosti. Razlog odabira te stranice je njen ekstreman pristup. Napravljena je 3D igra gdje ispitanici autićem prolaze kroz web stranicu i na taj način ostvaruju interakciju s objektima i informacijama. Primjer je veoma različit od prototipa ideje, te je očekivano da većina opažanja neće biti direktno korisna za produkt. Cilj je pokazati mogućnosti. Razmotriti koliko je pristupačan primjer i neki njegovi principi.

Testiranje korisnosti na već gotovim rješenjima provodilo se na računalu, dok se testiranje na prototipu provodilo na mobilnom uređaju. Izbor testnih okruženja je prvobitno takav zbog jednostavnosti provođenja intervjua. No možemo sagledati da testiramo dvije najčešće platforme, mobitel i računalo.

Iako nije konvencija mijenjati prototip iz jednog stanja u drugo tijekom procesa intervjuiranja, zbog vremenskog ograničenja intervjua i relativne jednostavnosti rješenja napravljena je iteracija već nakon drugog intervjua. Prva dva ispitanika su bila testirana na prototipu niske vjernosti ili Lo-Fi prototipu (engl. Low-fidality ) gdje se većinski utemeljila informacijska arhitektura aplikacije, dok je ostatak testiran na prototipu visoke vjernosti ili Hi-Fi prototipu (engl. High-fidality). Time su se efikasnije iskoristili intervjui, te se ispitalo više stvari.

Lista promjena u Hi-Fi prototipu:

* Arhitektura informacija
  + Galerija nije više početni ekran
  + Spojene su stranica Kontakta i O osobi u Početnu
  + Lista svih radova dodana na Početnu stranicu
  + Dodana su interakcijska uputstva
* Sadržaj
  + 6 zasebnih fotografskih reprezentacija 3D modela
  + Radovi u listi radova
  + Tekstualni sadržaj (engl. Copy and Microcopy)
* Dizajn
  + minimalističke boje
  + Fokus je na sadržaj

A screenshot of a computer

Description automatically generated with low confidenceGraphical user interface, application

Description automatically generated

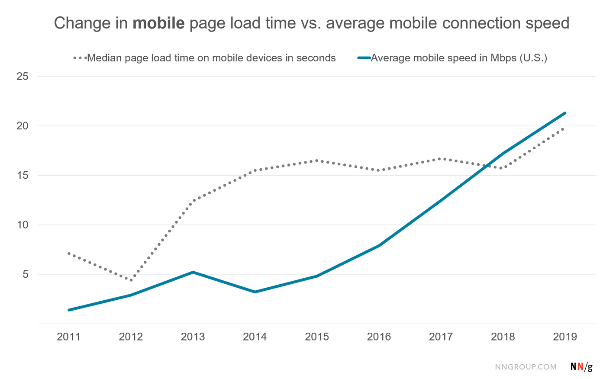
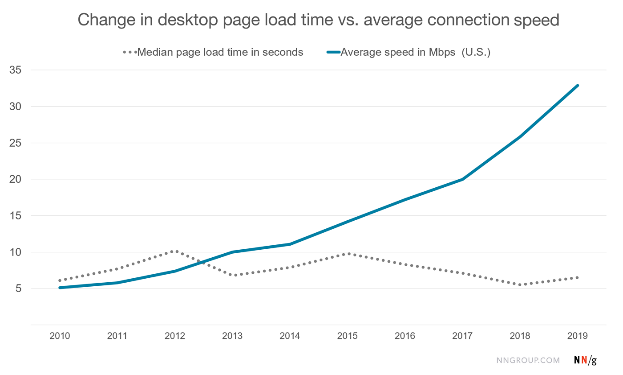
### Vrijeme učitavanja

Promatran je utjecaj vremena učitavanja web stranica i 3D scena na korisničko iskustvo.

Graphical user interface, application

Description automatically generated

5/5 ispitanika je na neki način negativno reagiralo na brzinu učitavanja objekata i stranica na kojima su se nalazili, što je bilo očekivano ponašanje. Istraživanje iz 2016 govori kako 53% posjetitelja izađe iz stranice ako učitavanje traje više od tri sekunde. Izvor [ovdje](https://web.archive.org/web/20170726070048/https:/www.doubleclickbygoogle.com/articles/mobile-speed-matters/). Danas su se standardi probavljanja informacija znato promijenili. Očekujemo brze informacije još brže, primjer je velika pojava i normalizacija kratkih videa na mnogim poznatim socijalnim platformama. [NNG sumira](https://www.nngroup.com/articles/the-need-for-speed/), “Iako se brzina interneta znatno povećala, brzina učitavanja web stranica nije”.



Situacija produkta je u velikom zaostatku od početka zbog velike količine resursa potrebne za prikaz modela. Mnoge stranice s raznim prominentnim nagradama koriste ovakve prikaze za povećavanje estetike i interesa. No pitanje je koliko to šteti korisnosti?

„Premotamo li do rujna 2022, prosječna veličina web stranice je oko 2.2 MB za računalne i oko 2 MB za mobilne stranice**“. -** [WebSize](https://www.seoptimer.com/blog/webpage-size/)

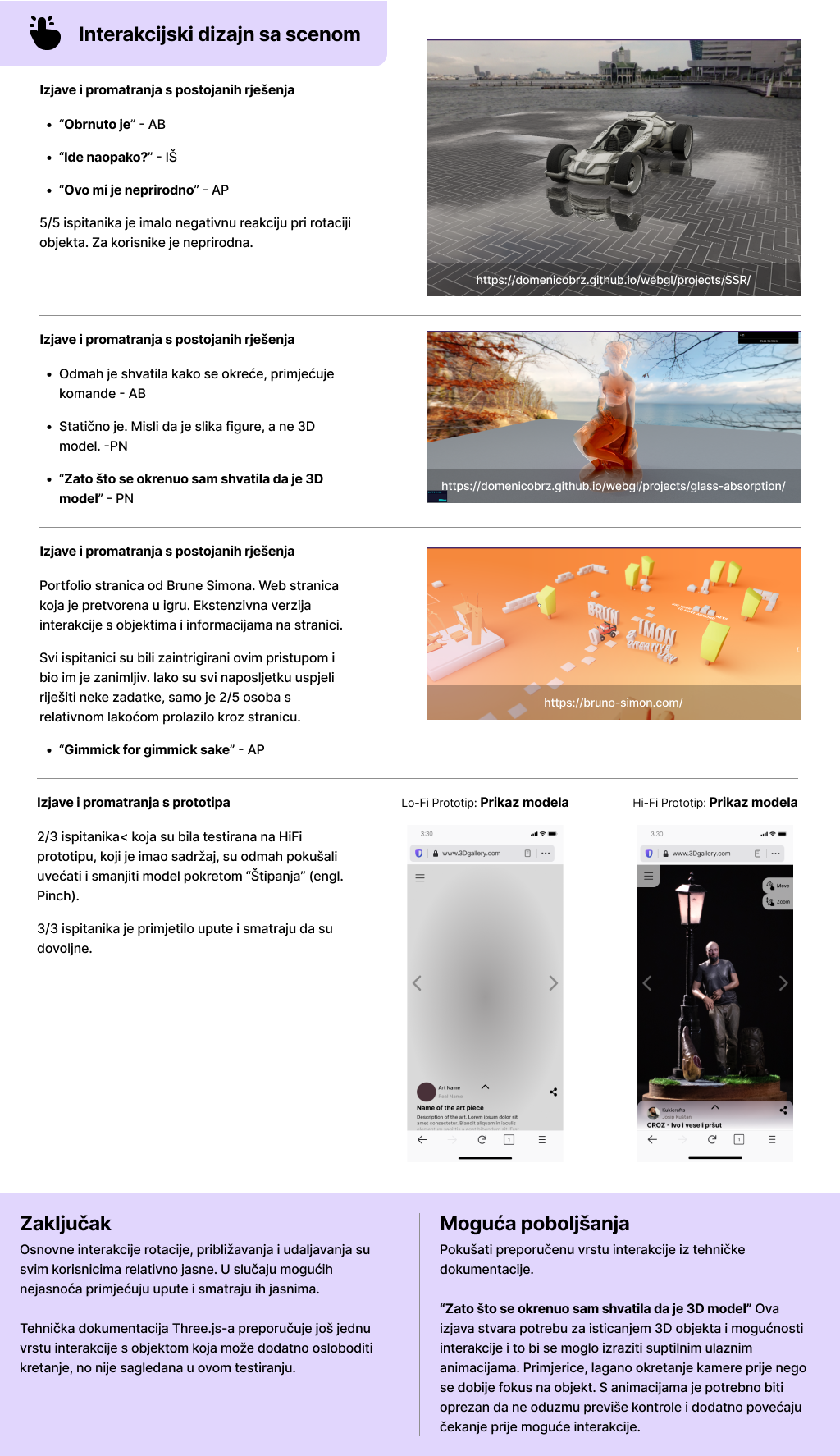
Govori se o kompresiji fotografija, no 3D modeli imaju mnoge resurse kao što su digitalni model, teksture, mape normala i druge.

”Smanjivanjem učitavanja stranice i za jednu sekundu će poboljšati vaše korisničko iskustvo i time će povećati vašu stopu konverzije**” –** NN/g

Promatranjem rješenja kao proizvoda, potrebno je staviti maksimalnu važnost na optimizaciju procesa. I na prividno ubrzavanje iskustva i olakšavanje čekanja. Ovisno o modelu vrijeme će varirati. Potrebno je uzeti u obzir da će čekanja biti.

### Interakcijski dizajn sa scenom

Promatrane su potreba i jednostavnost orbitne kontrole (engl. Orbit Controls) koja omogućuje rotaciju kamere sa stalnim fokusom na objekt. Također se promatralo približavanje i udaljavanje od objekta.



Sa znanjem da im se otvara 3D model 4/5 ispitanika ga je pokušalo približiti s kotačićem za pomicanje, jednom ispitaniku je bila potrebna uputa koja je bila prikazana pri dnu ekrana gdje se nalazio objekt. Potrebno je uzeti u obzir da kada korisnici ne znaju što traže imaju tendenciju koristiti kotačić za pomicanje kako bi pregledali ostatak stranice i kako bi dobili dodatni kontekst. Kod jednog ispitanika je uočena slična situacija. Čekajući učitavanje modela, ispitanik je koristio kotačić i slučajno približio kameru objektu koji se u tom trenutku učitao. Ispitanik je bio na kratko zbunjen, no ponovnim pokušajem je povezao koja je kontrola to napravila i nije se činilo da je negativno utjecalo na iskustvo.

2/3 ispitanika koja su bila testirana na Hi-Fi prototipu, koji je imao sadržaj, su odmah pokušali uvećati i smanjiti model pokretom “Štipanja” (engl. Pinch). Ovo je prirodna interakcija kod potrebe povećavanja elemenata na mobitelu. 3/3 ispitanika je primijetilo upute i smatraju da su dovoljne. Mora se napomenuti da zbog tehničkih ograničenja nije postojao funkcionalni model koji se mogao okretati ili približavati u prototipu, nego samo reprezentacija istog pomoću fotografije. Korisnici su na pitanja “Kako bi promatrali model?” odgovarali s velikom sigurnošću, tu se mora također naglasiti da su netom prije toga bili na raznim postojećim rješenjima i već su iskusili neke pristupe. Iako na računalu, već iz njih možemo zaključiti njihove preferencije.

Kroz testiranje je otkriveno još mogućih interaktivnih kontrola, najistaknutija je slobodna kontrola kamere ili leteća kamera. (engl. Free Camera or Fly Control). “To bi koristila za orginalne scultove.  Scena s figurama da moze šetati okolo.” - AP. Ova opcija se čini korisna za neke specifične situacije i otvorila bi još jedan zanimljivi pristup promatranja. Bitno je uzeti u obzir moguću važnost povećavanja prilagođavanja scene koja se prikazuje. U tom slučaju se možda treba uzeti u obzir funkcionalnost vraćanja kamere u početni položaj.

### Utjecaj ambijenta scene na korisničko iskustvo

Ovdje se promatra okolina prikazanog objekta. Na to se odnose HDRI-ovi u sceni, osvjetljenje, drugi elementi i efekti koji stvaraju ambijent.

Graphical user interface, website

Description automatically generated

### Utjecaj kontrola na korisničko iskustvo

Ovdje se promatra utjecaj opcija kontrole i manipulacije objekta i scene.

Graphical user interface, website

Description automatically generated

Treba uzeti u obzir da omogućavanje kontrola povećava kompleksnost i njihovim korištenjem može se utjecati na glatkoću prikaza. Korisnici smatraju da je zanimljiva funkcionalnost. 2/5 ispitanika je naglasilo kako im se sviđa što imaju moć mijenjati parametre koji utječu na model i okolinu. Tu se treba napomenuti kako su u primjerima komande koje su teško razumljive i ponekad ne mijenjaju vizualno puno i time nisu lagano uočljive.

### Interakcijski dizajn s drugim elementima ekrana

Koncentracija je na 3D scenu, no ne smije se odbaciti utjecaj drugih elemenata na ekranu. Želi se vidjeti primjećuju li potrebne elemente i imaju li poteškoća pri promatranju 3D scene.

Graphical user interface, application, website

Description automatically generated

## Korisničke potrebe digitalne galerije

Često se ispitanici na testiranju korisnosti osjećaju loše zato što misle da rade nešto krivo, iako je napomenuto da se ne testira njih, što često negativno utječe na cijelu atmosferu intervjua. Treba naglasiti da se ovaj dio vodio između ispitivanja korisnosti postojećih rješenja i prototipa, iako su oni skupa prezentirani u prethodnom poglavlju.

Sljedeći set pitanja je oblikovan u kratki razgovor, tako da predstavljena pitanja možda nisu u potpunosti ista kao što su postavljena korisniku, ali se drže tih parametara.

* Jeste li ikada bili u nekoj galeriji, muzeju, razgledavanju nečega? Na čemu?
* Kako promatrate izložen primjerak?
* Što očekujete vidjeti i koje informacije očekujete?
* Postoji li neka situacija koja Vam je ostala u sjećanju i zašto?
* Jeste li ikada vidjeli neku digitalnu galeriju?

Cilj ovih pitanja je ponovo vratiti ispitaniku koncentraciju te pokušati dodatno opustiti atmosferu razgovora prije testiranja samog prototipa. Skriva se korist ovih pitanja, propituju potencijalnu korist produkta, te se dobivaju očekivanja koja se mogu iskoristiti u modeliranju naše arhitekture informacija.

2/5 ispitanika je isprobalo hodajuću galeriju ili virtualne šetnje. Objašnjavaju kako im je to dalo predodžbu što tamo postoji prije nego što dođu.

* “Mogu procijeniti je li worth it, prije nego što odem”.
* “Bolje je uživo, ali ima smisla da postoji.”

Zaključak: Svi ispitanici imaju iskustva s nekom vrstom galerija ili izložbi. Ovisi o interesima, ali svi spominju kako vole imati priliku vidjeti nešto zanimljivo. Primjerke gledaju ovisno o mogućnostima i vrsti primjerka, no 4/5 ispitanika naglašava kako vole pogledati što više detalja te, ako je u pitanju objekt, proći oko njega i vidjeti iz više kutova. 3/5 ispitanika spominje interaktivne galerije. Smatraju da je takav pristup zanimljiv. 2/5 je probalo te im je zabavno igrati se sa takvim primjerima. Ono što ispitanici očekuju je osnovni set informacija o radu, kao što su - tko je autor rada te kada je izrađen, ali većina ispitanika naglašava kako im je najzanimljivije saznati “zašto”. Spominju kako dodatni kontekst, priča iza rada, inspiracija i slično može mnogo pridonijeti radu.

# Kreiranje digitalnog 3D modela pristupačnim metodama

Jedan od ciljeva projekta je pronaći pristupačne načine izrade 3D modela kako bi što više korisnika moglo iskoristiti mogućnosti koje se testiraju.

## ****Digitalno kiparstvo****

Digitalno kiparstvo jedna je od opcija kreiranja digitalnih 3D modela. Kao što je i za tradicionalno kiparstvo potreban alat i materijal, u digitalnom kiparstvu koriste se specijalizirani softveri koji mogu simulirati upravo to. Ti softveri se koriste za stvaranje 3D digitalnih objekata. Mogu se kreirati od nule ili uvozom postojećih 3D modela, koji mogu biti lako dostupni na internetu zbog široke i aktivne zajednice. Postoji nekoliko popularnih alata za 3D modeliranje, Blender, Maya, 3ds Max i ZBrush su neki od njih. Ovi softverski alati nude niz značajki i funkcija koje omogućuju stvaranje i manipulaciju 3D oblicima, teksturama, osvjetljenjem i mnogim drugim vizualnim elementima. Ako se uzme u obzir ovaj način izrade 3D modela, odabir bi bio Blender. Ostali navedeni alati nisu besplatni zbog čega se smanjuje njihova pristupačnost.

Blender je alat otvorenog koda te je besplatan. Iako je besplatan, lagano se može mjeriti s ostalim standardima industrije. Zbog njegove pristupačnosti kroz godine se akumuliralo mnogo kvalitetnih izvora znanja koji mogu olakšati učenje alata i raznih vještina 3D oblikovanja.

U softveru za 3D modeliranje obično se započinje stvaranjem osnovnog oblika ili mreže, a zatim se dodaju detalji te se tijekom vremena oblikuje objekt. Također je moguće dodati teksture i materijale objektu te podešavati svjetlost kako bi se stvorili realistični efekti osvjetljenja. Kada se objekt stvori, može se izvesti u različitim formatima, poput OBJ, FBX ili STL, koji se nakon toga mogu koristiti u druge primjene.

Krivulja učenja [ove metode je jako teška za početnike](https://www.quora.com/What-3D-animation-and-modeling-software-has-the-steepest-learning-curve). Njima može biti potrebno neko vrijeme da se upoznaju s alatima, sučeljem i tehnikama koje se koriste u digitalnom modeliranju. Potrebno je mnogo vremena za eksperimentiranje softverom, čitanje vodiča, gledanje video uputa, vježbanje te savladavanje osnova prije nego što se mogu stvarati složeniji modeli.

Kako bi se najviše olakšao proces učenja mogli bi se koristiti internetski alati poput Tinkercad, SketchUp Free, SelfCAD i 3D Slash. Namijenjeni su početnicima i nude alate za stvaranje 3D modela. Pomoću njih mogu se kreirati oblici, teksturirati ih i spajati s mnogim već gotovim modelima koji su dostupni. Iako je ovo jednostavniji pristup, treba uzeti u obzir da se time gube neke mogućnosti koje bi mogle doprinijeti kvaliteti modela.

Digitalno kiparstvo isključujemo iz pristupačnih načina izrade. Ono može zahtijevati veći trud korisnika kako bi došli do željenog rezultata. Krivulja učenja je za ove potrebe prevelika.

## 3D Skeniranje objekata

**3D skeniranje** je proces snimanja oblika i izgleda objekata u stvarnom svijetu. Pretvara skenirane podatke u 3D digitalne modele. Postoje različite tehnike 3D skeniranja, uključujući fotogrametriju, svjetlosnog zamjećivanja i klasifikacije ili LiDAR (engl. Light Detection and Ranging), skeniranje strukturiranom svjetlošću i skeniranje laserskom triangulacijom.

Skeniranje strukturiranom svjetlošću zahtjeva projektiranje uzorka svjetla na predmet koji se skenira, a deformacija uzorka se zatim analizira kako bi se odredila 3D forma objekta. Ova tehnika se obično koristi za manje objekte s visokim detaljima na površini, kao što su primjene u dizajnu proizvoda, kontroli kvalitete manjih predmeta.

Laserska triangulacija, s druge strane, koristi liniju lasera koja se projektira na predmet koji se skenira. Slično kao i kod skeniranja strukturiranom svjetlošću, deformacija linije lasera u fotografiji koristi se za izračun 3D forme objekta. Ova tehnika se obično koristi za veće objekte i okoline, kao što su primjene u arhitekturi, inženjerstvu i građevinarstvu. Rezultati ove metode mogu biti manje detaljni i zahtijevati više naknadne obrade za stvaranje upotrebljivog 3D modela.

Već je spomenuto da je skeniranje strukturiranom svjetlošću i skeniranje laserskom triangulacijom veoma nepristupačno zbog visoke cijene tehnologije. Zbog toga se neće razmatrati. Odabrane su dvije pristupačne metode - LiDAR i fotogrametrija.

### LiDAR

LiDAR je dobar izbor za stvaranje vrlo preciznih 3D podataka objekata i okruženja, pogotovo za velika područja, jer može brzo skenirati velike površine s visokom točnošću. Također je učinkovit u skeniranju objekata s kompleksnom geometrijom, poput nepravilnih oblika ili krajolika s različitom topografijom. LiDAR može biti skup i može zahtijevati specijaliziranu opremu i stručnost za učinkovitu upotrebu. [2020 Apple](https://blog.fenstermaker.com/what-cell-phones-have-lidar/) je predstavio iPhone 12 Pro koji u sebi ima ugrađeni LiDAR senzor. Ova funkcionalnost je otvorila razne napretke u toj tehnologiji kako bi ju napravili pristupačnijom i kvalitetnijom. Samo u 2020. godini je prodano 230 milijuna iPhone mobitela pa se sada ovu tehnologiju smatra pristupačnom.

Kada je 3D skeniranje dovršeno, digitalni model se može uvesti u softver za 3D modeliranje radi daljnje obrade ili 3D ispisa. 3D skeniranje ima širok raspon primjene, poput stvaranja 3D modela artefakata za muzeje i arhive, stvaranja 3D modela zgrada za arhitekturu i inženjerstvo te stvaranja 3D modela ljudi za film i video igre, a povećanjem pristupačnosti otkrivaju se i razne nove primjene.

### Fotogrametrija

Fotogrametrija uključuje fotografiranje više fotografija objekta iz različitih kutova. Kako bi se stvorio objekt potrebno je spomenuti softver za stvaranje 3D modela iz tih fotografija. Mora se uzeti u obzir da kvaliteta završenog objekta ovisi o raznim varijablama tijekom procesa

Kako bi se fotogrametrija izvela, prvo je potrebno snimiti seriju preklapajućih fotografija objekta iz različitih kutova. Za snimanje se može koristiti digitalni fotoaparat, smartphone kamera ili druga više specijalizirana rješenja za fotogrametriju. Nakon toga fotografije se uvoze u softver za fotogrametriju, primjerice Agisoft Metashape, RealityCapture ili Meshroom. Softver će analizirati fotografije i pokušati pronaći zajedničke značajke između slika kako bi ih poravnao, a zatim će iskoristiti podudarnosti kako bi stvorio 3D oblak točaka, mrežu ili teksturiranu mrežu, ovisno o korištenom softveru. Nakon što se prvotni 3D model generira, može ga se doraditi čišćenjem buke ili pogrešaka, popunjavanjem nedostajućih podataka i zaglađivanjem geometrije. Ovaj korak može uključivati upotrebu dodatnih alata. Kad je 3D model gotov, moguće ga je izvesti u različitim formatima koji se mogu koristiti u drugom 3D softveru ili 3D ispisu.

## **Korišteni alati**

### **Polycam**

Mobilna aplikacija koja podržava fotogrametriju i LiDAR tehnologiju. Namijenjena je izradi 3D modela stvarnih objekata i okruženja uz pomoć kamere pametnog telefona ili, ako mobilni uređaj ima tu mogućnost, pomoću LiDAR senzora. Korisnici mogu snimiti seriju preklapajućih fotografija objekta ili okoliša te koristiti aplikaciju za generiranje kvalitetnog 3D modela. Aplikacija koristi kombinaciju algoritama strojnog učenja i računalnog vida za analizu fotografija i rekonstrukciju geometrije i teksture objekta ili okoliša. Navedena aplikacija je dizajnirana tako da je jednostavna za upotrebu i ne zahtijeva prethodno iskustvo s 3D skeniranjem ili 3D modeliranjem. Aplikacija vodi korisnike kroz postupak snimanja fotografija i generiranja 3D modela, a rezultirajući model može se izvesti u različitim formatima.

### Reality Capture i Meshroom

To su programska rješenja za računala koja se koriste u fotogrametriji. Reality Capture je komercijalni softver poznat po jednostavnosti korištenja i brzini, a koriste ga profesionalci za različite primjene, kao što su vizualizacija arhitekture, produkcija filmova i video igara. Predstavljanjem licence “plati po unosu”, koja dozvoljava plaćanje izrade modela ovisno o količini unesenih podataka, je način na koji je Reality Capture proširio svoju pristupačnost. S druge strane, Meshroom je softver otvorenog koda i besplatan je za korištenje i podržava različite formate ulaznih podataka. Oba alata mogu obraditi velike skupove podataka i proizvesti kvalitetne rezultate.

# Specifičnosti prikaza 3D modela u web preglednicima

U sljedećim koracima će se definirati metrika pomoću koje će se odabrati tehnologija koja će biti korištena za implementaciju projekta.

## ****Definiranje potrebnih metrika za odabir tehnologije 3D prikaza****

Kada se bira biblioteka za 3D prikaz na internetu, potrebno je uzeti u obzir nekoliko metrika. Performanse su trenutno među najbitnijim metrikama. Biblioteka bi trebala moći rukovati s velikim i složenim scenama, a istovremeno održavati visoki broj slika u sekundi (engl. Frames per second).

Kompatibilnost sa različitim web preglednicima važna je kako bi produkt radio na širokom rasponu uređaja.

Sljedeća metrika, koja se trenutno izdvaja zbog velike važnosti, je težina učenja tehnologije. Zbog toga je potrebno odabrati biblioteku koja je jednostavna za učenje. Jednostavnost se može mjeriti po kvaliteti dokumentacije, uključenosti i podršci zajednice.

Različite biblioteke nude različite značajke i mogućnosti, tako da je potrebno razmisliti o specifičnim zahtjevima projekta i odabrati tehnologiju koja odgovara tim zahtjevima.

Zanimljiva metrika je mogućnost integracije s drugim tehnologijama i sustavima. Također, važna je skalabilnost, kako u smislu veličine i složenosti scena koje se mogu stvoriti, tako i u smislu mogućnosti dodavanja novih značajki i funkcionalnosti po potrebi. U [početnoj fazi skalabilnost ne igra preveliku](https://www.youtube.com/watch?v=FFPZfvHfE8M) ulogu zato što razmišljanje i rješavanje problema o skalabilnosti kada još ne postoji okvir projekta može znatno usporiti proces izrade. Prolazit će se kroz ove metrike kako bi se odabrala ispravna biblioteka za izradu programskog rješenja projekta.

## ****Odabir tehnologije****

Postoji nekoliko istaknutih tehnologija za stvaranje 3D grafike u web pregledniku. WebGL je JavaScript API koji omogućuje hardverski ubrzane 3D grafike. Tehnologija je niske razine i time pruža veliku mogućnost kontrole. Zbog toga je relativno kompleksna za korištenje.

Three.js je popularna JavaScript biblioteka izgrađena na WebGL tehnologiji. Ona pruža apstrakcije visoke razine za rad s 3D grafikom i time smanjuje kompleksnost WebGL-a.

Postoje razna rješenja koja olakšavaju proširenu realnost, odnosno AR (Agmented Reality) i virtualnu realnost, odnosno VR (engl. Virtual Reality). A-Frame je okvir otvorenog koda za izgradnju iskustava virtualne stvarnosti koji je izgrađen na Three.js-u i pruža niz komponenata za stvaranje VR scena, poput kontrolera, zvuka i videa. Postoji WebXR, JavaScript API koji omogućuje pristup uređajima virtualne i proširene stvarnosti, poput VR slušalica i AR naočala, iz web preglednika.

Na kraju, Babylon.js je druga popularna JavaScript biblioteka za stvaranje 3D grafike u web pregledniku koja pruža niz performansnih značajki poput fizike, animacija i grafa scene koji je čest alat u mnogim softverima za izradu video igara.

WebGL zbog kompleksnosti korištenja neće biti sagledavan. No apstrakcija nad njim, Three.js, se čini kao kvalitetan kandidat. Uz njega bi Babylon.js mogao biti odličan odabir. Projekt ne zahtjeva AR i VR mogućnosti i zbog toga se ne sagledava mogućnost korištenja A-Frame okvira, a ni WebXR API-a.

### ****Razlike između Three.js i Babylon.js biblioteka****

Često se pojavljuju rasprave i usporedbe na ovu temu. Kako bi se izbjeglo stvaranje nove i kako bi se uštedilo vrijeme u procesu izrade produkta, iskoristit će se već postojeća usporedba i analiza iz 2021 “[Performance and Ease of Use in 3D on the Web: Comparing Babylon.js with Three.js](https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1523176/FULLTEXT01.pdf)” koja sumira:

„Rezultati su pokazali da su obje biblioteke jednako dobro funkcionirale kada je riječ o broju slika u sekundi, a Babylon.js je koristio 2,2 MB, 46%, više memorije. Samo pet od osam ili 63% sudionika uspjelo je implementirati 3D model u Babylon.js, a pet od devet ili 56% u Three.js. Three.js je nešto bolje ocijenjen po pitanju jednostavnosti korištenja od Babylon.js, ali nijedan okvir nije dobio visoku ocjenu na cjelokupnoj ljestvici. Sudionici su odabrali Babylon.js kada su ih pitali za izbor. Međutim, gotovo svi su imali frustrirajuće iskustvo s oba okvira tijekom sesija.“

Odabir će biti Three.js, ovo istraživanje pokazuje znatnu razliku u korištenju resursa. Mora se uzeti u obzir da je istraživanje iz 2021, te je moguće da postoji napredak u oba slučaja. Najveći razlog odabira je pristup kvalitetnim izvorima znanja i prethodnim iskustvom s Three.js bibliotekom.

## ****Upoznavanje sa odabranom tehnologijom****

Postoji nekoliko izvora za učenje Three.js-a. Službena Three.js dokumentacija dobar je početak, pokriva osnove postavljanja scene, rada s materijalima i teksturama te stvaranja animacija. Video uradci i tečajevi s web stranica poput Udemy, Coursera i Skillshare pružaju dublje mogućnosti učenja, dok razni YouTube kanali nude razne video upute. Three.js GitHub repozitorij također nudi mnoge primjere koji demonstriraju različite značajke biblioteke, a na Three.js stranici je još jedan odličan izvor, zbirka interaktivnih 3D demoa koji prikazuju mogućnosti biblioteke. Osim toga, dostupne su i knjige o Three.js, poput Jos Dirksenovog "Three.js Essentials". Koristit će se [Three.js Journey](https://threejs-journey.com/) tečaj, zbog detaljnih video uradaka, vodiča i primjera koji pokrivaju potrebe projekta

# Implementacija programskog rješenja

Kako bi se mogao uvesti i prikazati objekt pomoću Three.js-a prvo se mora kreirati model, te ga izvesti u kompatibilni format kao što je .obj ili .glTF.

Kako bi olakšali kreiranje web aplikacije, te zbog prethodnog iskustva, napravljena je integracija Three.js-a s Reactom. To je postignuto koristeći biblioteku poput React Three Fiber-a, koja pruža deklarativan način rada s Three.js-om u React okruženju. Omogućuje definiranje Three.js scene pomoću JSX sintakse i pruža niz ugrađenih komponenti za rad s 3D objektima, materijalima i osvjetljenjem.

Sljedeće, postavljanje scene u Three.js-u uključuje dodavanje svjetla i postavljanje boje ili slike pozadine. Najbitnije, potrebno je uvesti 3D objekt i postaviti ga u scenu, pozicionirati i skalirati po potrebi. Potrebno je postaviti željenu kontrolu da se omogući interakcija s objektom.

# Analiza zadovoljstva korisnika programskim rješenjem

Potreba za dodatnom optimizacijom. Better UX, ali nije pristupačno. Mogućnosti kako to olakšati

https://www.vectary.com/3d-modeling-blog/optimizing-3d-models-for-the-web/

Pristupnik: Hrvoje Horvat, JMBAG

Mentor: prof. dr. sc. Dobar Voditelj

Datum: 02. 02. 2006.

**NASLOV ZAVRŠNOG RADA**

