

Fotogrametrija



Nejc Zalokar

OŠ RIHARDA JAKOPIČA

FOTOGRAMetriJA

PODROČJE: RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

RAZISKOVALNA NALOGA

NEJC ZALOKAR

8. razred

MENTOR: KLEMEN ŠORAK

APRIL 2021

KAZALO VSEBINE

1 Uvod	8
2 Teoretični del.....	9
2.1 3D model	9
2.2 Perspektiva	10
2.3 Piksli.....	10
2.4 Fotogrametrija.....	11
2.5 Vrste fotogrametrije.....	12
2.6 Uporaba	14
2.7 Delovanje.....	15
2.8 Zgodovina	19
3 Eksperimentalni del.....	20
3.1 Raziskovalna vprašanja in hipoteze.....	20
3.2 Metoda	21
3.3 Opis poskusa.....	21
3.4 Meritve	25
3.5 Ugotovitve	34
3.6 Zanimivosti	37
3.7 Potrjevanje hipotez:	38
3.8 Moje mnenje o programih	39
4 Zaključek.....	40
5 Viri in literatura	41

KAZALO SLIK

Slika 1: primer 3D modela	9
Slika 2: sestava telesa	9
Slika 3: Perspektiva.....	10
Slika 4: piksli	10
Slika 5: slikanje in končni izdelek.....	11
Slika 6: DEM.....	11
Slika 7: zračna fotogrametrija	12
Slika 8: zemeljska fotogrametrija	13
Slika 9: satelitska fotogrametrija.....	13
Slika 10: arheolog	14
Slika 11: začetne slike	15
Slika 12: studio	16
Slika 13: prikaz vrtenja kamere	16
Slika 14: iskanje točk	17
Slika 15: algoritem bundle adjustment	17
Slika 16: skupne točke	18
Slika 17: končni izdelek.....	18
Slika 18: delovanje naprave za slikanje	22
Slika 19: višji položaj kamere.....	23
Slika 20: program za delovanje naprave	23
Slika 21: uporabljeni predmeti za slikanje.....	24
Slika 22: primerjava žog (levo iz plačljivega programa, desno iz brezplačnega programa).....	35
Slika 23: nepopolno narejen 3D model, kljub narejenimi začetnimi točkami	35
Slika 24: primerjava plišastih igračk (levo iz plačljivega programa, desno iz brezplačnega programa).....	36
Slika 25: obris televizorja na škatli v brezbarvnem pogledu	37
Slika 26: pogled škatle televizorja z barvami.....	37

KAZALO TABEL

Tabela 1: prikaz števila oglišč pri brezplačnem programu	26
Tabela 2: prikaz razlike med številom oglišč iz brezplačnega programa	26
Tabela 3: zaseden prostor pri shranjevanju iz brezplačnega programa	27
Tabela 4: razlika zasedenega prostora pri brezplačnem programu	28
Tabela 5: prikaz števila oglišč pri plačljivem programu.....	29
Tabela 6: razlika v števila oglišč pri plačljivem programu	29
Tabela 7: zaseden prostor pri shranjevanju iz plačljivega programa	30
Tabela 8: razlika zasedenega prostora pri plačljivem programu	31
Tabela 9: število oglišč pri brezplačnem programu in plačljivem programu	32
Tabela 10: razlika v številu oglišč pri brezplačnem in plačljivem programu	32
Tabela 11: zaseden prostor pri shranjevanju iz brezplačnega in plačljivega programa	33
Tabela 12: razlika zasedenega prostora pri brezplačnem in plačljivem programu.....	33

Povzetek

Fotogrametrija je že kar dolg znana metoda za izdelovanje zemljevidov, dandanes pa tudi za arhiviranje različnih arheoloških ostankov, pomoč pri izdelavi iger oz 3D modelov... Vendar pa javnosti ni kaj dosti znana.

V svoji raziskovalni nalogi sem predstavil fotogrametrijo. Opisal sem nekaj osnovnih značilnosti fotogrametrije, kje se jo uporablja, nekaj o zgodovini in razvoju fotogrametrije, o vrstah fotogrametrije ter o delovanju. V svoji raziskovalni nalogi sem se posvetil predvsem nastanku različnih 3D modelov iz vsakdanjega življenja in o delovanju fotogrametrije.

V eksperimentalnem delu sem želel ugotoviti, kako na nastanek 3D modela vplivajo različno dobre kamere, kako je s shranjevanjem 3D modelov oziroma koliko prostora zasedejo na računalniku. Želel sem ugotoviti razliko med plačljivim in brezplačnim programom za izdelovanje 3D modelov. Zato sem uporabil eksperimentalno metodo dela. Uporabil sem tri različne predmete; lesen kvader, žogo ter plišasto igračko. Ugotovil sem, da je plačljiv program naredil boljše 3D modele ter da če imamo na primer kamero, ki je 3krat boljša od druge, ni nujno, da bo tudi končni izdelek tolikokrat boljši od drugega.

Ključne besede

Fotogrametrija, fotografija, 3D model, fotografiranje, programska oprema, fotoaparati

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju, učitelju Klemenu Šoraku, ki me je usmerjal in pomagal reševati različne tehnični težave, ki sem jih imel pri poskusu. Zahvaljujem se tudi mlajšemu bratu in staršem. Brat mi je pomagal pri sestavi naprave za fotografiranje ter omogočil hitrejšo izdelavo 3D modelov z uporabo njegovega računalnika, starši pa so nalogo večkrat prebrali ter mi tako dajali napotke za naprej.

1 Uvod

Fotogrametrija ni tako zelo razširjena veda, vendar pa je zelo uporabna na različnih področjih. Sprva sem se o njej seznanil po naključju, ko sem na internetu gledal posnetke o 3D risanju. Tako sem začel sam poskušati narediti podobno. Na začetku mi ni ravno šlo, vendar sem se z večimi modeli, ki sem jih naredil čedalje več, naučil. Ker me je tema zanimala, sem si želel o njej izvedeti še več. Na primer kaj je potrebno za nastanek dobrega 3D modela, kako na to vpliva oblika, ločljivost fotoaparata ...

Moja raziskovalna naloga je sestavljena iz dveh delov. V prvem teoretičnem delu predstavim fotogrametrijo, opišem, kje se jo uporablja, kako deluje, opišem nekatere pogostejše vrste fotogrametrije ter nekaj o zgodovini. V drugem eksperimentalnem delu pa sem želel ugotoviti, kako pomembno vlogo pri tem igra programska oprema in kamere oziroma kakovost fotografije. Zato sem različne predmete fotografiral, iz njih naredil 3D modele in jih nato med seboj primerjal.

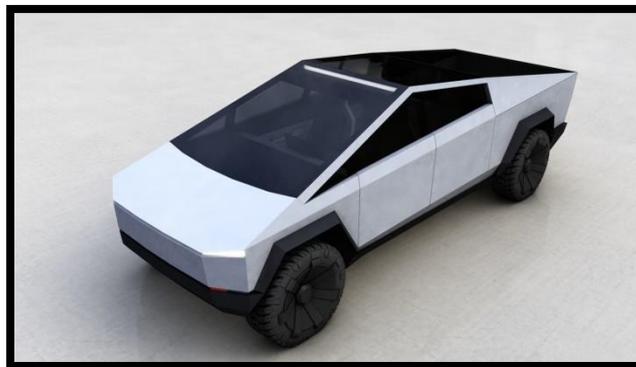
Pred začetkom pa sem si zadal še nekaj hipotez:

1. Vsi 3D modeli bodo narejeni korektno.
2. 3D modeli narejeni iz nižje ločljivostnih slik iz brezplačnega programa bodo naredili 4-krat manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik.
3. 3D modeli narejeni iz nižje ločljivostnih slik iz plačljivega programa bodo naredili 4-krat manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik.
4. Modeli narejeni iz višje ločljivostnih slik iz brezplačnega programa ne bodo potrebovali 4-krat več prostora na disku.
5. Modeli narejeni iz višje ločljivostnih slik iz plačljivega programa ne bodo potrebovali 4-krat več prostora na disku.
6. Plačljiv program bo naredil bolj kakovostne 3D modele kot brezplačni program.

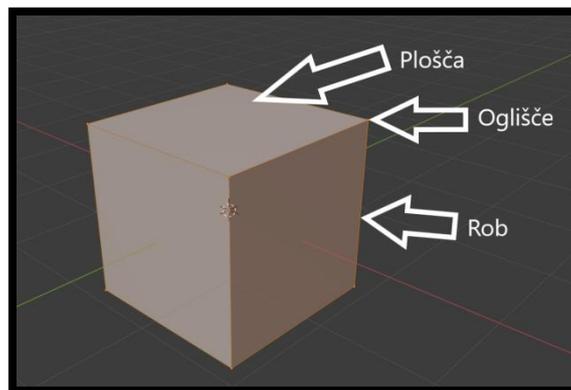
2 Teoretični del

2.1 3D model

Je matematični prikaz nečesa tridimenzionalnega. To pomeni, da prikažemo predmet ali okolico v treh dimenzijah: višina, širina in globina. Medtem ko dvodimenzionalni prikaz pomeni, da nekaj prikažemo v dveh dimenzijah: širina in višina. 3D modeli se uporabljajo za upodabljanje resničnih in vizualnih slik za umetnost, zabavo, simulacije, oblikovanje ... So pa tudi sestavni deli različnih industrij, kot so video igre, 3D tiskanje, filmi ... Za ustvarjanje 3D modelov potrebujemo posebne programe, ki pa so že zelo razširjeni. Pri ustvarjanju so modeli sestavljeni iz treh skupin. To so plošče, robovi in oglišča. Na natančnost končnega izdelka vpliva število teh skupin. Torej večje kot je, bolj gladko oziroma bolj natančen bo končni izdelek.



Slika 1: primer 3D modela

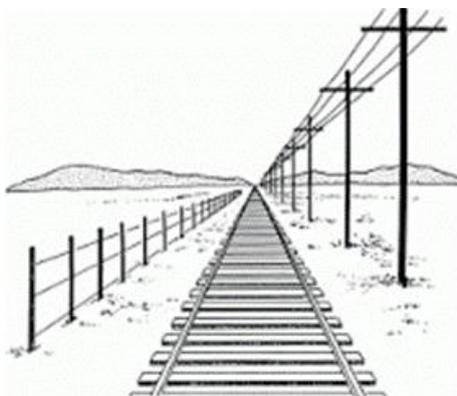


Slika 2: sestava telesa

2.2 Perspektiva

Perspektiva je pogled na predmet oziroma okolico z različnih smeri. Perspektiva se uporablja tudi v likovni umetnosti. Gre za upodabljanje globine oziroma predstavitve tridimenzionalnega prostora na dvodimenzionalni ploskvi. Pri tem je pomembno, da so predmeti, ki so bolj oddaljeni prikazani manjši, kot tisti ki se nahajajo bližje.

Sicer pa poznamo tudi kar nekaj vrst perspektive, ki pa jih med seboj ločimo glede na položaj pogleda. Poznamo ptičja perspektiva (pogled od zgoraj), žabja perspektiva (pogled od spodaj), linearna perspektiva (pogled iz višine oči), kavalirska perspektiva (pogled iz višine jezdeca na konju), centralna perspektiva (točka izginjanja je v središču) ter obrnjena perspektiva (predmeti v bližini so manjši kot oddaljeni predmeti).

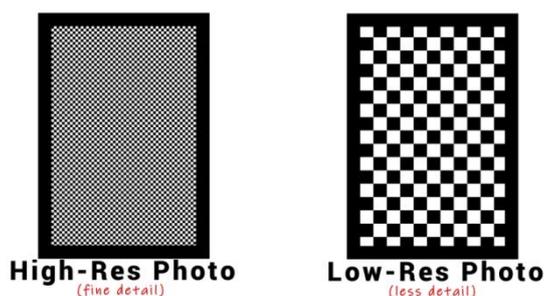


Slika 3: Perspektiva

2.3 Piksli

Vsaka slika je sestavljena iz ogromnega števila točk, ki jih imenujemo piksli, milijon pikslov pa megapiskel ali krajše MP. Pri novejših mobilnih napravah se število giblje okoli 12MP, pri boljših pa tudi 48MP, 64MP ali celo 108MP. Sicer pa imajo vsi vsaj eno prednost.

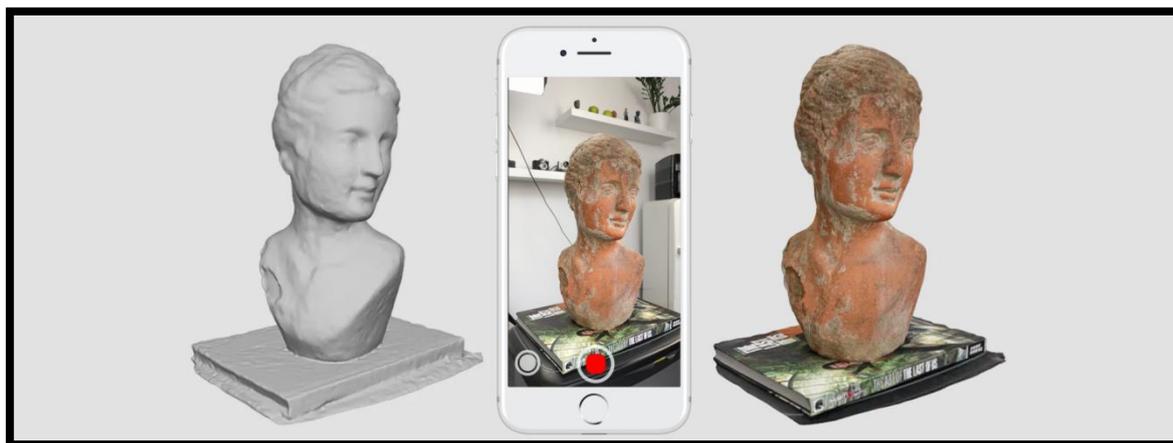
Pri fotografijah je kot prvo zelo pomembna svetloba. Tukaj so boljše kamere z manjšim številom pikslov. Zakaj? Senzor v telefonu ima določeno veliko površino. Zato so piksli večji in tako zajamejo več svetlobe. Tako je fotografija kljub slabšim pogojem bolje osvetljena kot fotografija z večjim številom pikslov. Če pa fotografijo zelo povečamo, jo obrezujemo itd., pa se bolje izkažejo fotografije z večjim številom MP, saj so bolj natančna, pri obrezovanju pride do manjše zameglitve.



Slika 4: piksli

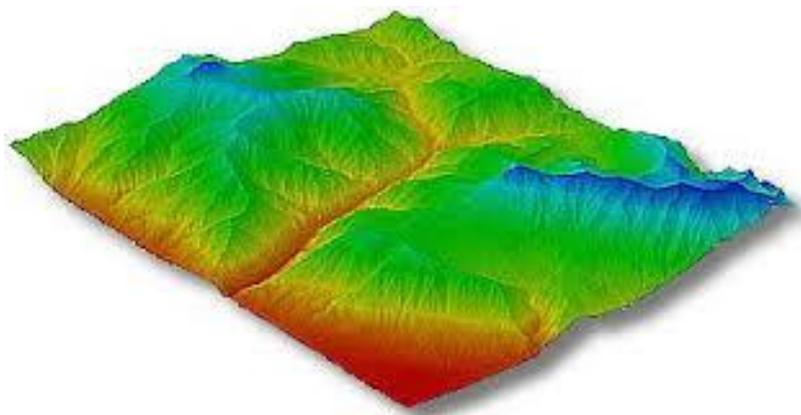
2.4 Fotogrametrija

Sama beseda fotogrametrija izhaja iz treh besed. To so fotografija, kar pomeni svetloba, gram, kar pomeni risanje, in metrija, kar pomeni merjenje. Fotogrametrija je znanost merjenja po fotografijah. Pri tem se kot vhodni podatek uporabljajo fotografije predmetov, zgradb, narave ... Kot izhod so po navadi 3d modeli, zemljevidi, risbe ... Na podlagi fotogrametrije in fotografij so ustvarjeni številni zemljevidi, ki so bili posneti z letali, avtomobili, sateliti ... Primer je Google Earth oziroma Google zemlja.



Slika 5: slikanje in končni izdelek

Prav tako že marsikje nadomešča podatke digitalnega elevacijskega modela (DEM), ki prikazujejo podatke o nadmorski višina pokrajin, ki jih je prvotno predstavila NASA.



Slika 6: DEM

2.5 Vrste fotogrametrije

Fotogrametrijo lahko razdelimo na več načinov, najpogostejša delitev pa je razdelitev polja glede na lokacijo fotoaparata med fotografiranjem. Tako imamo zračno, zemeljsko in satelitsko fotogrametrijo.

Zračna fotogrametrija:

Kamera je nameščena v letalu in obrnjena navpično navzdol. Tako letalo posname več fotografij, ki se med seboj prekrivajo, na koncu pa te slike obdelajo z avtomatiziranimi namiznimi sistemi.



Slika 7: zračna fotogrametrija

Zemeljska oziroma bližnja fotogrametrija:

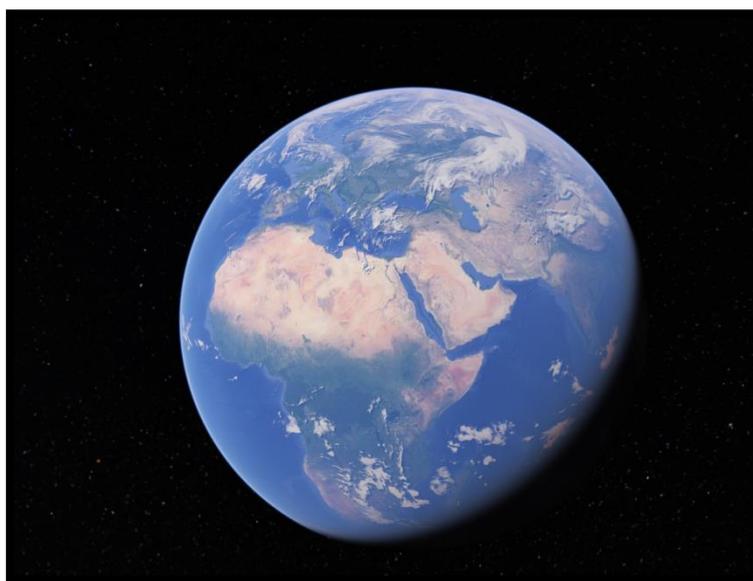
Kamera je nameščene na tleh, v roki, na palici oziroma stojalu ... Pri tej vrsti so po navadi rezultati na koncu risbe 3d modeli, meritve. Vsakodnevne kamere se uporabljajo za modeliranje in merjenje zgradb, inženirskih objektov, forenzičnih prizorišč in prizorišč nesreč, rudnikov, zemeljskih del, zalog, arheoloških artefaktov, filmskih sklopov.



Slika 8: zemeljska fotogrametrija

Satelitska fotogrametrija:

Zadnja vrsta pa temelji na fotografijah posnetih s pomočjo satelita. Zelo pomembna razlika je, da do teh vrst podatkov nimajo dostopa vsi, toda pa nam precej večjo sliko Zemljinega površja kot na primer zračna fotogrametrija. To vrsto uporablja podjetje Google za izdelavo Google Earth in Google Maps.



Slika 9: satelitska fotogrametrija

2.6 Uporaba

Zaradi razširjenosti pametnih telefonov in brezpilotnih letal, ki imajo že zelo dobro razvite kamere, je fotogrametrija danes učinkovita in stroškovno dostopna metoda za ustvarjanje 3d model površin, predmetov ali zgradb. S pomočjo fotogrametrije so dodelani številni filmi, kjer kombinirajo filmske posnetke z 3d modeli narejenimi s fotogrametrijo (film *The impossible*), uporabljajo jo pri forenziki, v proizvodnji, pri geodetskih dejavnosti. Uporabljajo jo tudi pri drugih fotorealističnih scenah, kot na primer v video igrah, kjer določene like narišejo s pomočjo fotogrametrije. Prav tako pa jo uporabljajo tudi na primer pri arheologiji za kartiranje površinskih ostankov na arheoloških najdiščih.



Slika 10: arheolog

2.7 Delovanje

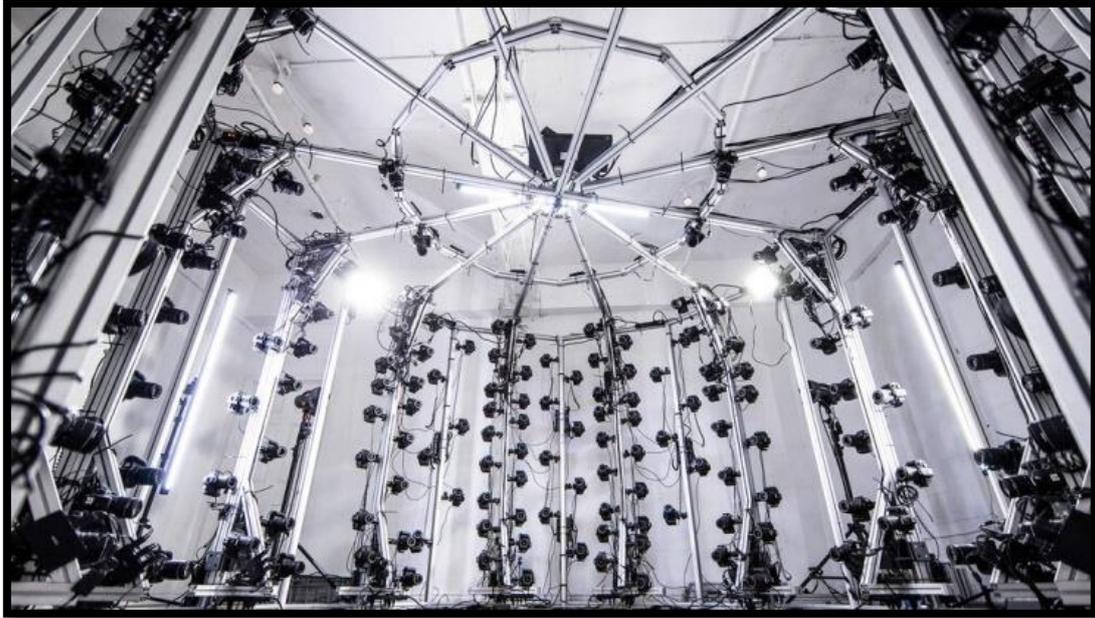
V prvem koraku izbran predmet fotografiramo z različnih strani oziroma z različnih kotov in pri različni oddaljenosti. Na kakovost končnega izdelka vpliva:

1. Pravilna osvetlitev predmeta (ne sme vsebovati ostrih senc, saj to zelo zmede program).
2. Večje kot je število slik, bolj natančen bo končni izdelek.
3. Natančnost fotoaparata.
4. Predmet fotografiranja ne sme odbijati svetlobe.
5. Na začetku moramo poskrbeti, da na fotoaparatu ali telefonu izključimo zameglitev.
6. Najboljše je ozadje brez močne svetlobe (če to delamo sami doma, je najbolj primerno oblačno vreme in dnevna svetloba).

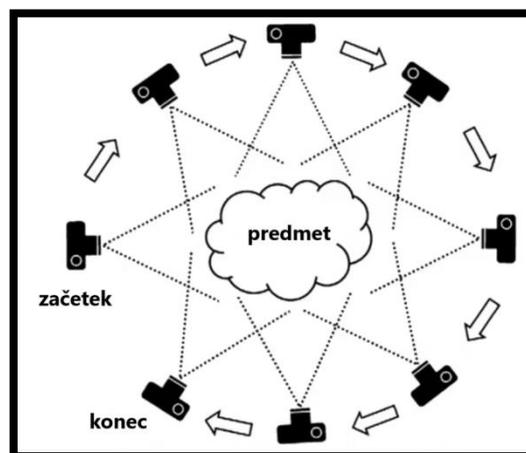


Slika 11: začetne slike

Obstajajo pa tudi posebni studii, v katerih imajo ogromno število kamer, ki slikajo predmet istočasno. To je pomembno predvsem pri fotografiranju oseb, ki se konstantno rahlo premikajo (mežikanje, obračanje obraza ...).

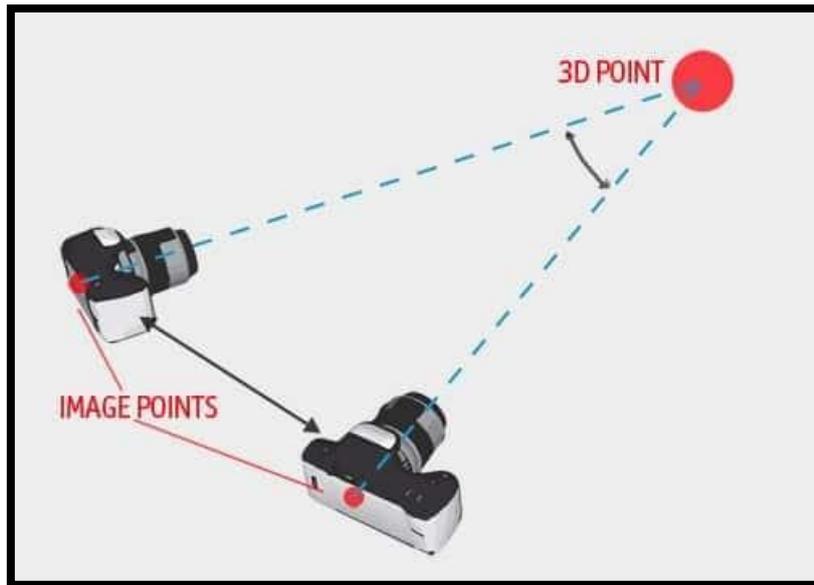


Slika 12: studio



Slika 13: prikaz vrtenja kamere

Ko smo zbrali slike, na vrsto pride program. Vse slike so sestavljene iz ogromnega števila točk. Nato program z uporabo več fotografij izračuna položaj točke v 3D prostoru, vendar pa mora pred tem imeti nekaj informacij, kje je točka prikazana na vsaki fotografiji, parametre kamere (goriščnica in popačenje leče) ter relativni položaj in kot zajetih fotografij.

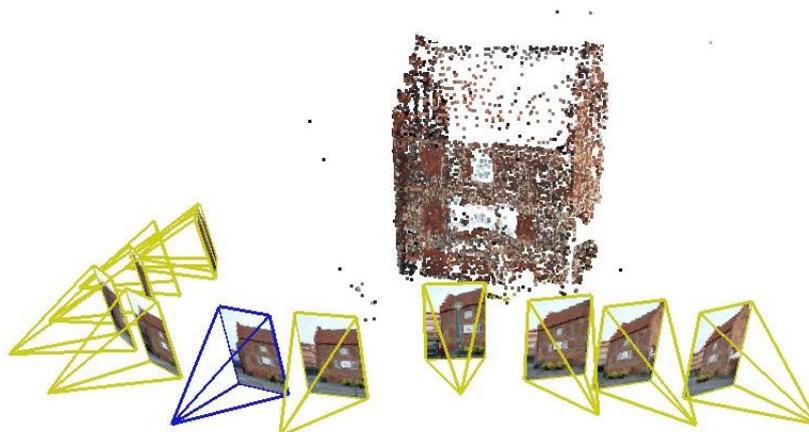


Slika 14: iskanje točk

Sledi ključen algoritem imenovan **bundle adjustment** ali prilagoditev snopa. Algoritem iz nabora slik, ki prikazujejo številne 3D točke zelo natančno poišče ujemajoče točke. Pri tem si pomaga z največjim možnim približevanjem.

Program si najprej izbere točko na sliki. Nato na podlagi podatkov med zajemanjem slik (razdalja in kot med kamerami) predvide, kje naj bi se točka preslikala in dobi njene koordinate na sliki. Tako preveri, ali se podatki na drugi sliki ujemajo s predvidljivimi. Če to drži, nadaljuje z drugimi točkami, vendar po navadi temu ni tako. Če se podatka ne ujemata, izračuna razliko in ponovno točke preslika naprej. Na podlagi razlike pa sproti popravlja položaj točk v 3D prostoru in položaj kamer.

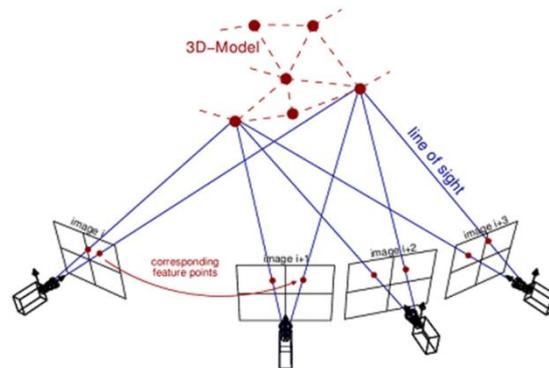
Rezultat algoritma:



Slika 15: algoritem bundle adjustment

Program nato dobljene točke poveže skupaj, da dobimo lepo obliko 3D modela.

Na koncu pa je potrebno še merjenje v realnih enotah (na primer dve točki sta med seboj oddaljeni 15 cm). Za to potrebujemo referenčno lestvico.



Slika 16: skupne točke

Poznamo pa tudi nekaj pojmov kot so:

Ujemanje točk: iskanje dveh točk na fotografiji, ki se nahajajo na isti 3D lokaciji.

Triangulacija: splošna metoda za uporabe več fotografij za reševanje točk.

Na koncu pa iz teh točk ustvari realni 3D model, ki je kopija originala.



Slika 17: končni izdelek

2.8 Zgodovina

Čeprav fotogrametrija deluje s pomočjo digitalnih fotografij ali posnetkov, temelji vsega segajo že zelo dolgo nazaj. Leta 1480 je Leonardo da Vinci ugotovil, da je potrebno perspektivo vključiti v ilustracijah oziroma slikah, saj s tem dobimo realno sliko, ki je trodimenzionalna. Primer tega je, da so predmeti bolj oddaljeni od nas, narisani manjše. Nato je leta 1840 francoski geodet Dominique F. Arago ugotovil, da bi lahko takrat novoizumljene kamere uporabljali za ustvarjanje topografskih zemljevidov. Sam izraz fotogrametrija pa se je prvič uporabil leta 1867 v objavi članka pruskega arhitekta Albrechta Meydenbauerja. Kot očeta fotogrametrije pa danes štejemo francoskega znanstvenika Aimé Laussedat, ki je v petdesetih letih prejšnjega stoletja opozoril na možnosti kartiranja iz fotografije. Kasneje pa so fotogrametrijo uporabljali za vojaške namene med prvo svetovno vojno. Predvsem zemeljsko fotogrametrijo. V drugi svetovni vojni je bila v ospredju zračna fotogrametrija. V drugi polovici 20. stoletja se je to le še izpopolnjevalo. Tako danes obstaja že ogromno število programov in programskih oprem za fotogrametrijo, ki so prav tako cenovno ugodne.

3 Eksperimentalni del

3.1 Raziskovalna vprašanja in hipoteze

Raziskovalna vprašanja:

1. Ali bodo vsi 3D modeli narejeni korektno?
2. Ali bodo 3D modeli pri nižji ločljivosti slik iz brezplačnega programa naredili 4-krat manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik?
3. Ali bodo 3D modeli pri nižji ločljivosti slik iz plačljivega programa naredili 4-krat manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik?
4. Ali bodo 3D modeli pri višji ločljivosti slik iz brezplačnega programa potrebovali 4-krat več prostora na disku kot 3D modeli iz nižje ločljivostnih slik?
5. Ali bodo 3D modeli pri višji ločljivosti slik iz plačljivega programa potrebovali 4-krat več prostora na disku kot 3D modeli iz nižje ločljivostnih slik?
6. Ali bo plačljiv program naredil bolj kakovostne 3D modele?

Hipoteze:

1. Vsi 3D modeli bodo narejeni korektno.
2. 3D modeli narejeni iz nižje ločljivostnih slik iz brezplačnega programa bodo naredili 4-krat manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik.
3. 3D modeli narejeni iz nižje ločljivostnih slik iz plačljivega programa bodo naredili 4-krat manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik.
4. Modeli narejeni iz višje ločljivostnih slik iz brezplačnega programa ne bodo potrebovali 4-krat več prostora na disku.
5. Modeli narejeni iz višje ločljivostnih slik iz plačljivega programa ne bodo potrebovali 4-krat več prostora na disku.
6. Plačljiv program bo naredil bolj kakovostne 3D modele kot brezplačni program.

3.2 Metoda

V svoji raziskovalni nalogi sem uporabil eksperimentalno metodo dela.

Poskus se deli na dva dela:

Prvi del:

V raziskovalni nalogi sem opravil poskus, pri katerem sem med seboj primerjal predmete različnih oblik z različno kakovostjo fotografije. Pri tem sem vsak predmet poslikal s pomočjo naprave, ki sem jo izdelal iz Lego mindstorma. S tem sem zagotovil, da so bile vse slike narejene pod enakimi pogoji. Predmet sem fotografiral pod različnimi koti in iz različnih položajev. Tako je nastalo 38 fotografij, ki so bile temelj vsakega izdelanega 3D modela.

Na koncu pa sem primerjal, kako na izdelan 3D model vpliva ločljivost fotografije.

Drugi del:

Prav tako sem med seboj primerjal dve različni programski opremini, Meshroom, ki je brezplačen program, ter Agisoft Metashape, ki je plačljiv program. Njegova cena za standardno okolje je 179 dolarjev.

3.3 Opis poskusa

Pripomočki pri poskusu:

1. Pametni telefon
2. Prenosni računalnik
3. Naprava za fotografiranje
4. Predmeti za fotografiranje
5. Računalniški program za izdelavo 3D modela (Meshroom)
6. Računalniški program za upravljanje telefona na daljavo (Teamviewer);

Izdelava naprave za fotografiranje:

Iz izkušenj pri pripravi raziskovalnih nalog v preteklosti sem ugotovil, da je potrebno ustvariti čim bolj konstantne pogoje za izvedbo poskusa in s tem poskus naredil bolj natančen.

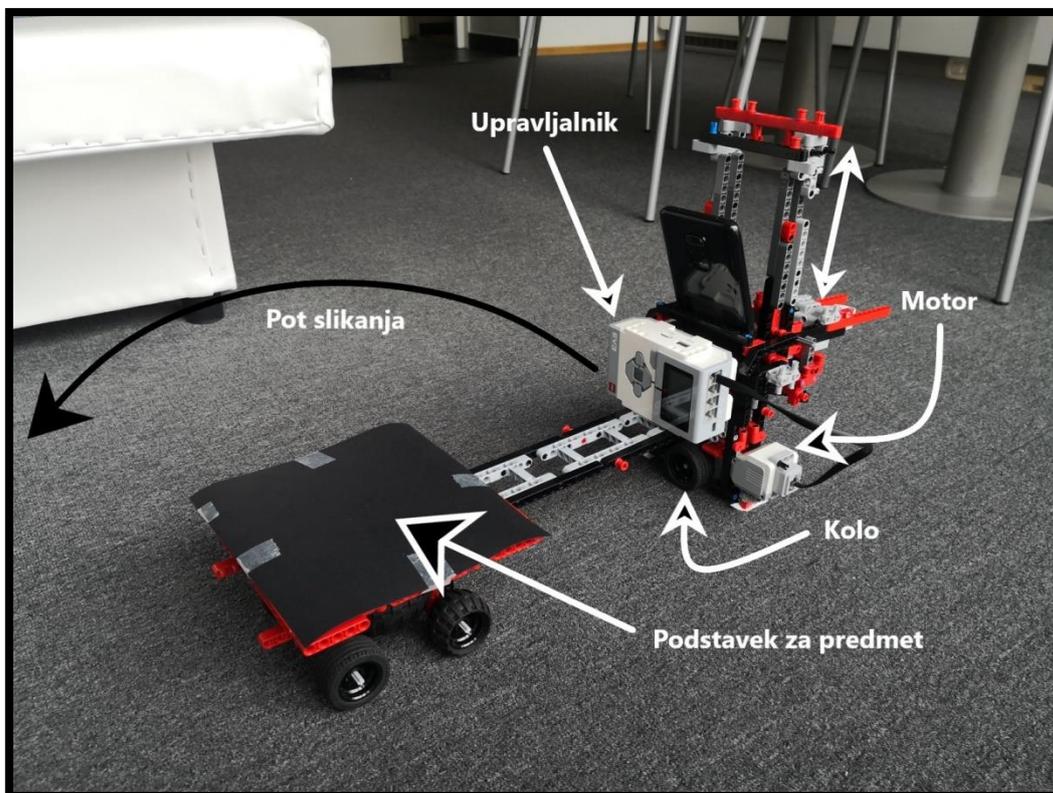
Za izdelavo naprave sem pogledal veliko posnetkov na internetu, kako narediti pripomoček za natančno fotografiranje. Pri tem sem dobil idejo, da bi uporabil Lego kocke, bolj natančno Lego mindstorm komplet, saj omogoča upravljanje motorjev in senzorjev na daljavo.

Zastavil sem si cilj, da bom sestavil napravo, kjer se bo predmet vrtel na mestu okoli svoje osi, medtem ko se kamera pri tem ne bo premikala. Prva naprava, ki sem jo sestavil ni delovala kot sem si želel, saj je pri tem nastal ploščat 3D model. Predvidevam, da se je to zgodilo, ker program predmeta ni znal vključiti v okolico, ki se ni spreminjala.

Porodila se mi je ideja za novo izboljšano napravo, ki bi delovala obratno. Pri tem bi se kamera vrtela okoli predmeta, ki bi stal pri miru. S tem sem zagotovil, da se bo okolica na fotografijah spreminjala.

Delovanje naprave:

Naprava je sestavljena iz dveh delov. Prvi služi kot podstavek za predmet, drugi pa je držalo za kamero.



Slika 18: delovanje naprave za slikanje

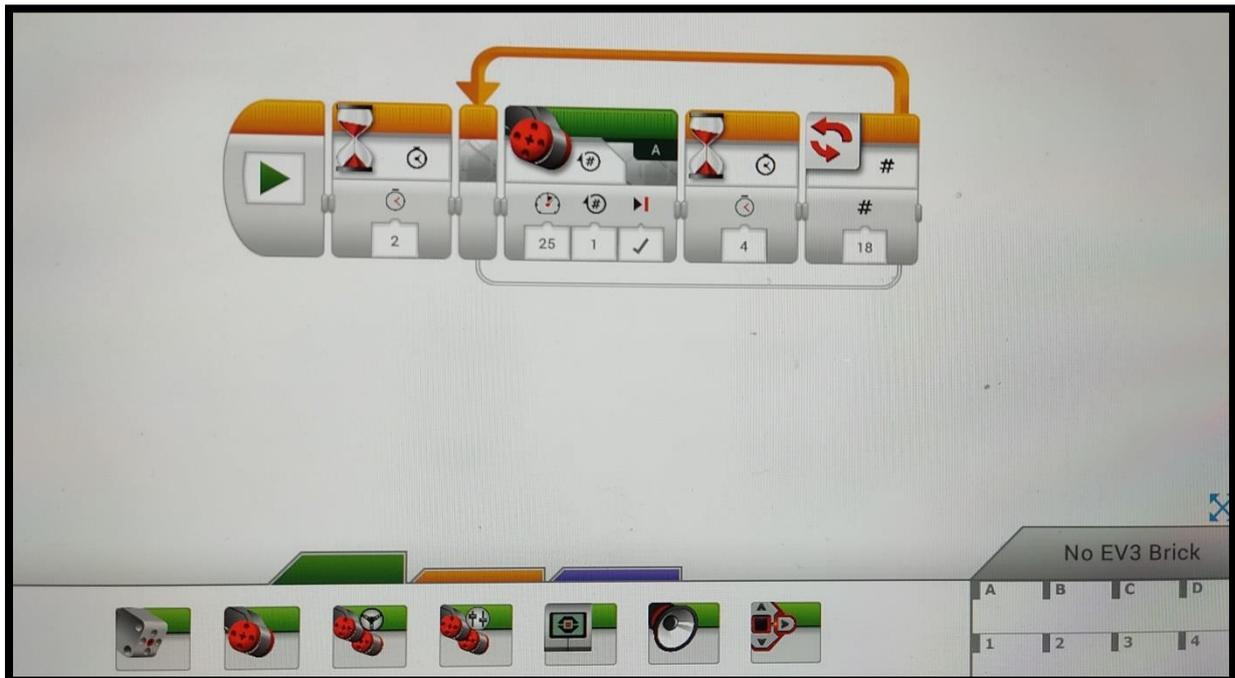
Kamera se vrti v nasprotni smeri urinega kazalca in tako naredi 19 fotografij v enem krogu. Gre za cikel, pri katerem se naprava premakne, se ustavi (da se fotoaparatusmiri) in nato jaz preko računalnika, ki je povezan s telefonom preko aplikacije TeamViewer, fotografiram.

Enak cikel se nato ponovi še enkrat, vendar pa je tokrat kamera dvignjena nekoliko višje.



Slika 19: višji položaj kamere

Program:



Slika 20: program za delovanje naprave

Eksperiment:

V eksperimentu sem vsak predmet fotografiral dvakrat. Prvič sem na telefonu uporabil kamero z ločljivostjo 12 MP, nato pa sem na istem telefonu določil višjo ločljivost, ki je 48 MP in tako predmet še enkrat fotografiral. Iz dobljenih fotografij je program naredil 3D model.

V osnovi sem predstavil, da bi moral model, ki je bil ustvarjen s 4-krat slabšo kamero, vsebovati 4-krat manj točk oz. oglišč kot model, ki je bil ustvarjen s kamero višje ločljivosti.

Uporabil sem tri premete različnih oblik; gladko žogo, hrapav lesen kvader ter puhasto plišasto igračko.



Slika 21: uporabljeni predmeti za slikanje

3.4 Meritve

1. Kakovost 3D modelov:

V svoji raziskovalni nalogi sem izdelal 12 3D modelov, ki so se razlikovali po obliki predmeta, kakovosti slik, iz katerih so bili narejeni ter programih, po katerih so bili narejeni. Pri brezplačnem programu so bili od 6 3D modelov korektno narejeni 3 3D modeli. Lesen kvader iz nižje ločljivostnih ter iz višje ločljivostnih slik je bil narejen slabo, ker je program naredil okolico, ne pa željenega modela. Prav tako se je to zgodilo pri plišasti igrački narejeni iz višje ločljivostnih slik. Zaradi nepravilno narejenih 3D modelov so se nato nekatere ugotovitve močno spremenile.

Plačljiv program pa je naredil vse 3D modele.

LEGENDA:

LEGENDA:	V =	narejeno s slikami pri višji ločljivosti
	N =	narejeno s slikami pri nižji ločljivosti
	A =	narejeno z brezplačnim programom
	B =	narejeno z plačljivim programom

2. Modeli iz brezplačnega programa:

Tabela 1: prikaz števila oglišč pri brezplačnem programu

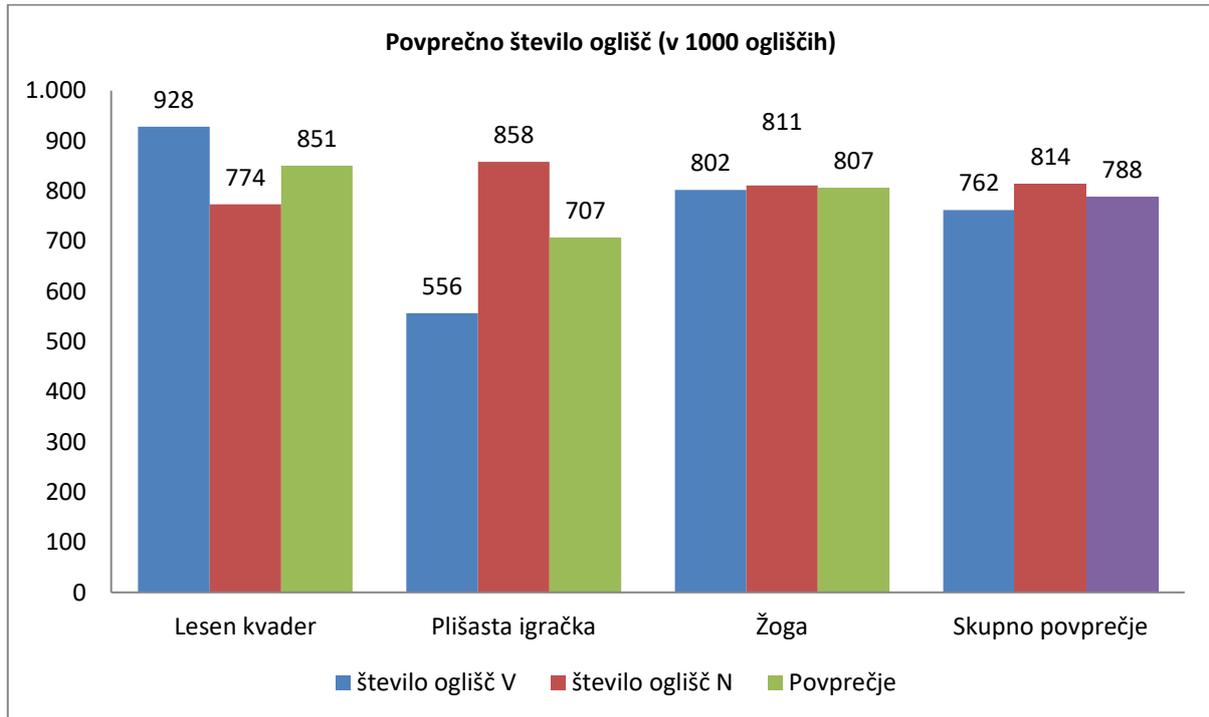
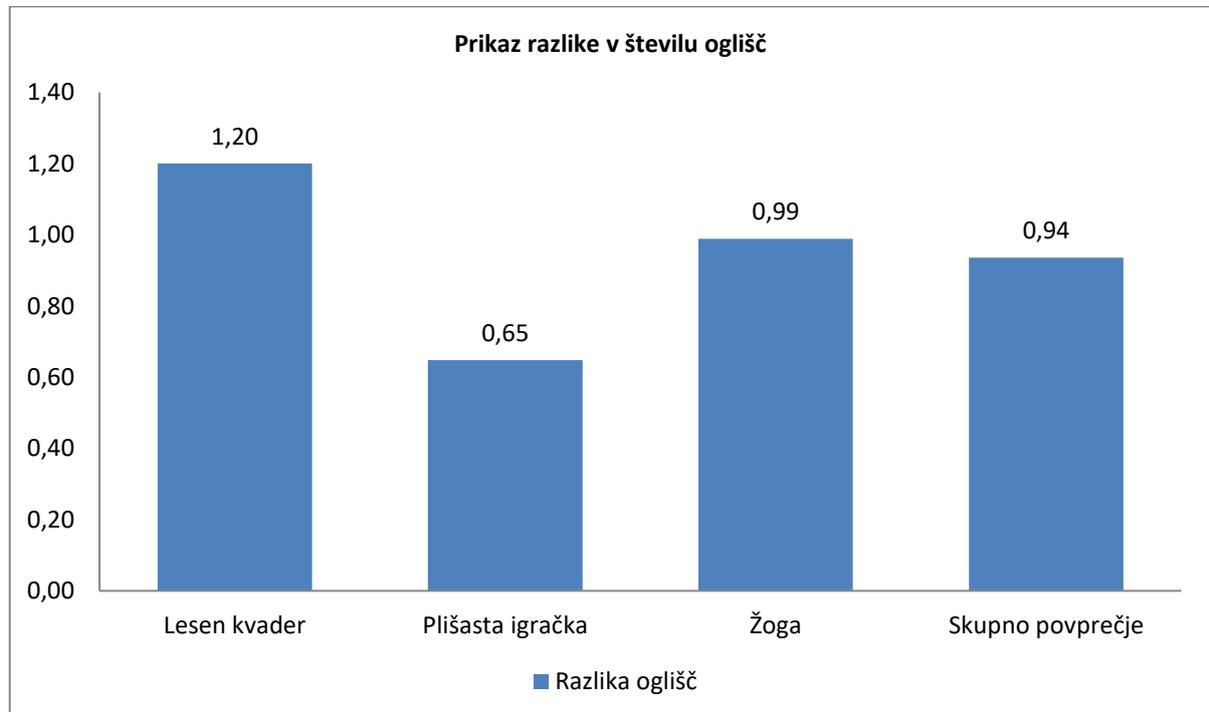


Tabela 2: prikaz razlike med številom oglišč iz brezplačnega programa



Prva grafa prikazujeta število oglišč in razliko v številu oglišč 3D modelov, ki so nastali iz brezplačnega programa. Kot lahko vidimo, je največja razlika med modeli iz boljših slik in modeli iz slabših slik nastala pri lesenih kvadrkih. Razlika sicer ni bila pričakovana, vendar pa je bila nastala razlika med kvadrom iz višje ločljivostnih slik in kvadrom iz nižje ločljivostnih slik 1,2-kratna. Pri žogah in pri plišastih igračkah pa je bilo število oglišč iz bolj kakovostnih slik nižje od števila manj kakovostnih. Razlika pri plišastih igračkah je tako 0,65-kratna, pri žogah pa 0,99-kratna. Vendar pa moramo upoštevati, da sta bili žogi edini korektno narejeni.

Povprečno pa so vsi 3D modeli skupaj naredili zaokroženo 788.000 oglišč, njihova skupna povprečna razlika pa je bila 0,94-kratna.

Nato sledi še primerjava zasedenega prostora:

Tabela 3: zaseden prostor pri shranjevanju iz brezplačnega programa

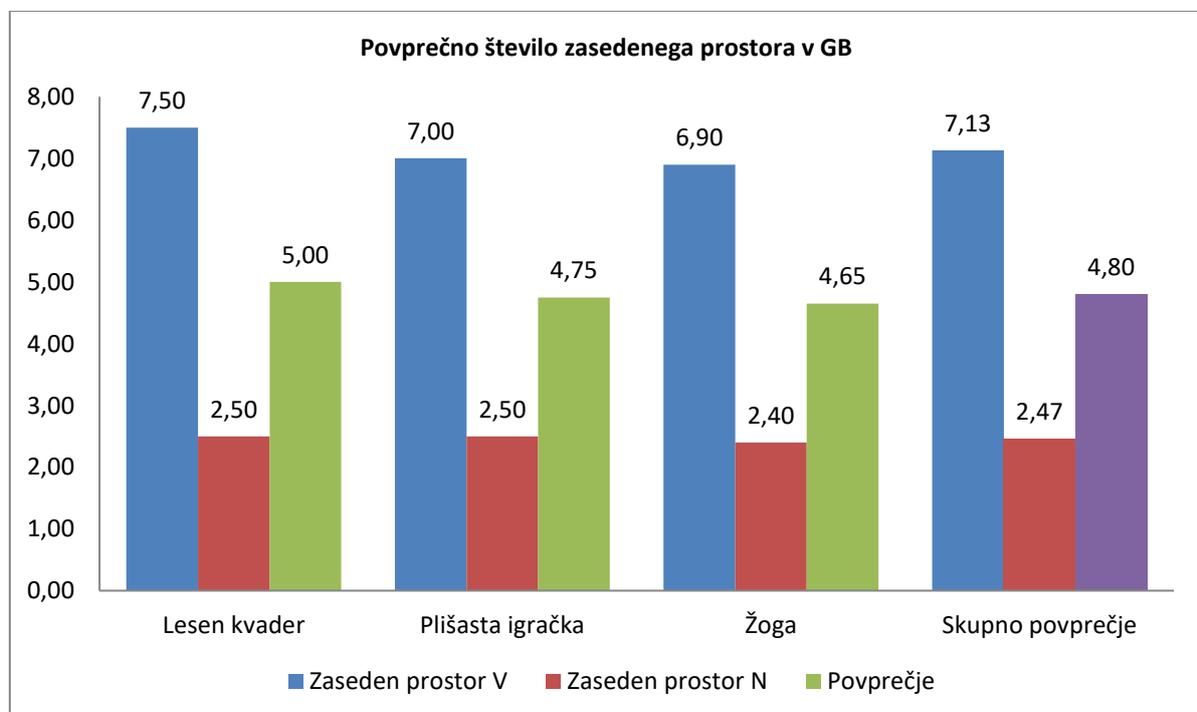
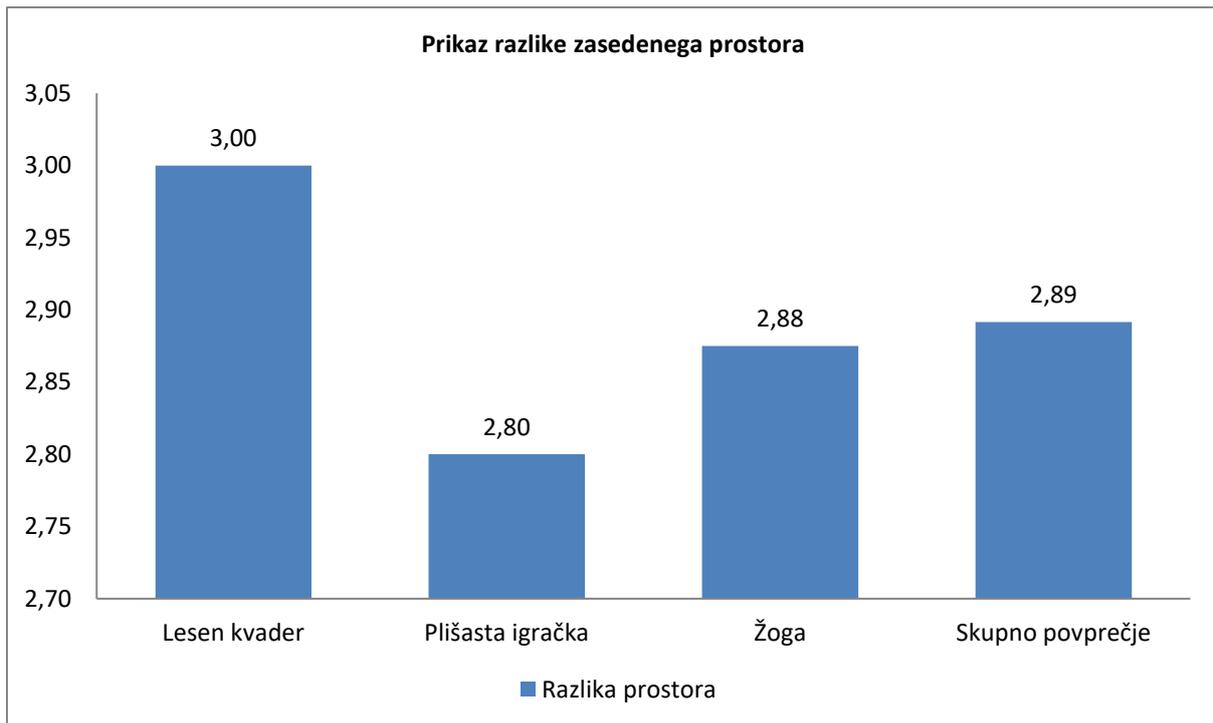


Tabela 4: razlika zasedenega prostora pri brezplačnem programu



Vsi 3D modeli iz brezplačnega programa so za shranjevanje podatkov porabili kar nekaj prostora. Največ prostora sta skupaj v povprečju porabila lesena kvadra, ki sta porabili kar 5 GB prostora. Sledita plišasti igrački (4,75 GB), na koncu pa žogi (4,65 GB). Razlika med zasedanjem si sledi v nekoliko drugačnem zaporedju. Na prvem mestu sta tako kot prej lesena kvadra, sledita žogi, na zadnjem mestu pa sta plišasti igrački.

Iz grafov je tudi opazno, da pri shranjevanju razlika zasedenega prostora bližje mojim pričakovanjem in je bila pri lesenih kvadrh kar 3-kratna.

Skupno povprečje zasedenega prostora je tako 4,8 GB, skupno povprečje razlike pa je 2,89-kratna.

3. Modeli iz plačljivega programa:

Tabela 5: prikaz števila oglišč pri plačljivem programu

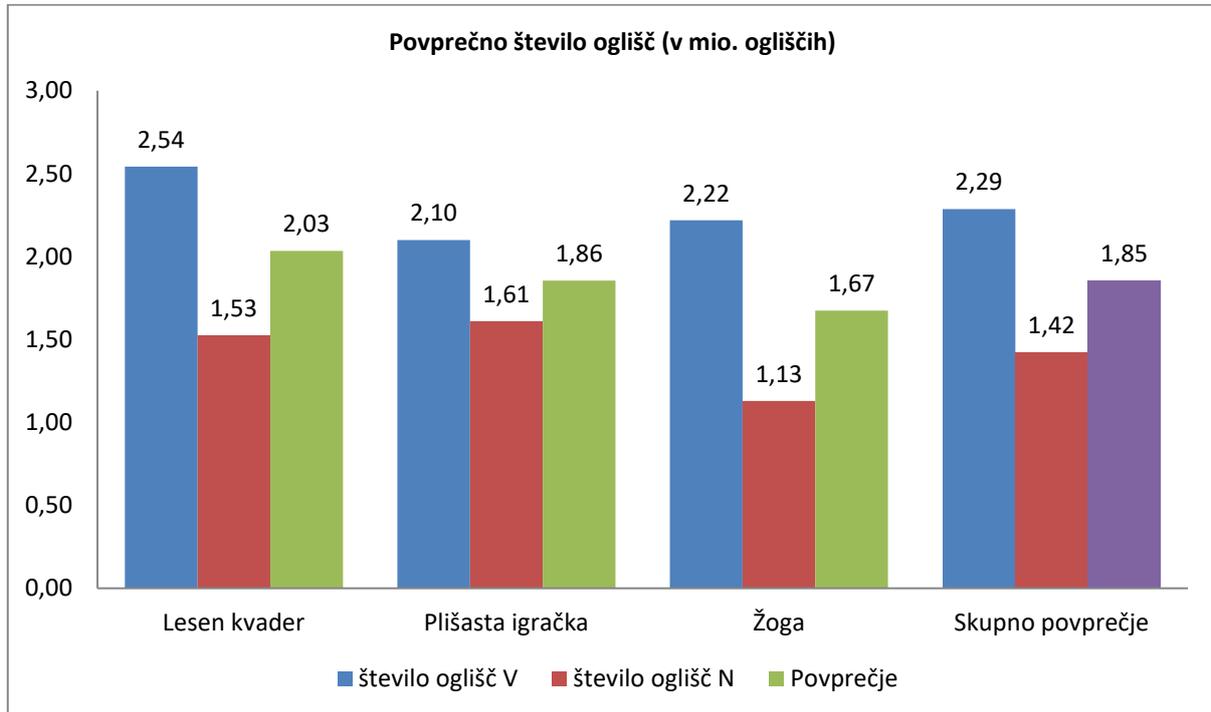
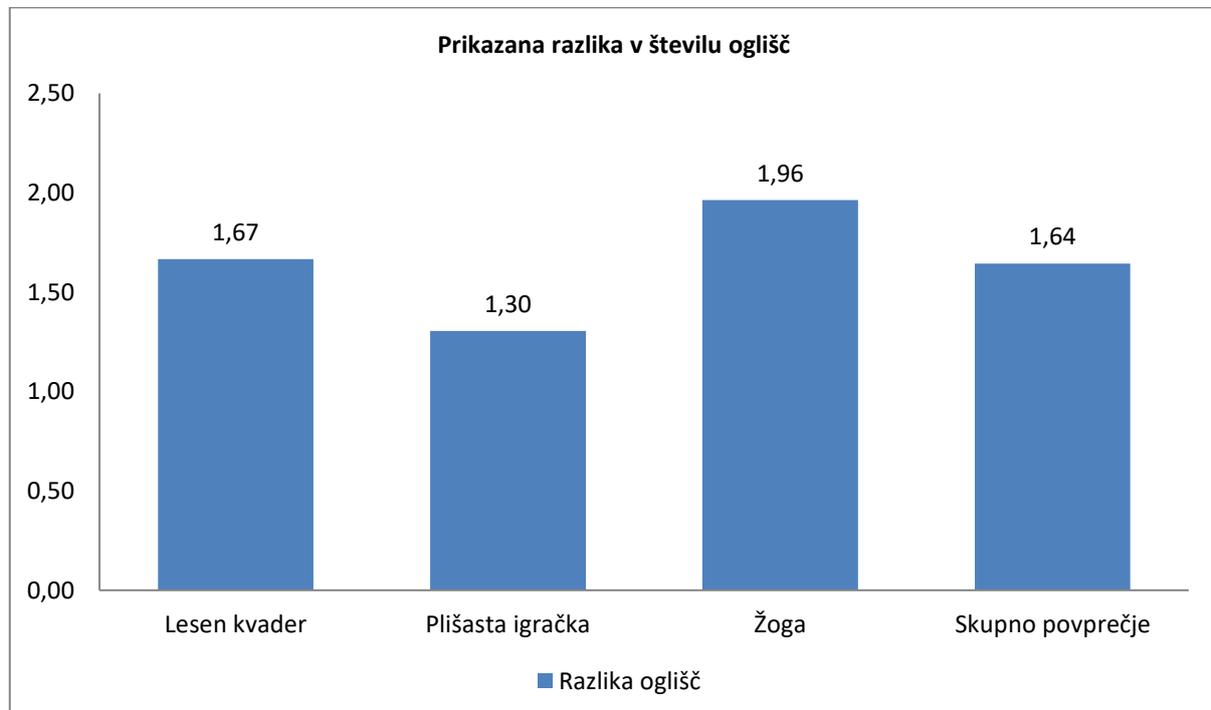


Tabela 6: razlika v števila oglišč pri plačljivem programu



Na grafih je prikazano število oglišč 3D modela ter razlika oglišč med 3D modeli, ki so nastali iz plačljivega programa. Največja razlika je nastala med žogama in je bila 1,96-kratna. Sledita lesena kvadra, kjer je razlika 1,67-kratna, na koncu pa sta plišasti igrački, kjer je bila razlika 1,3-kratna. V povprečju sta največ oglišč imela lesena kvadra s kar 2.030.000 oglišči. Nato sta plišasti igrački s 1.860.000 ter žogi s 1.670.000 oglišči.

Povprečno število oglišč je tako zaokroženo 1.850.000, skupno povprečje razlike pa je 1,64-kratna.

Zaseden prostor pri shranjevanju datoteke:

Tabela 7: zaseden prostor pri shranjevanju iz plačljivega programa

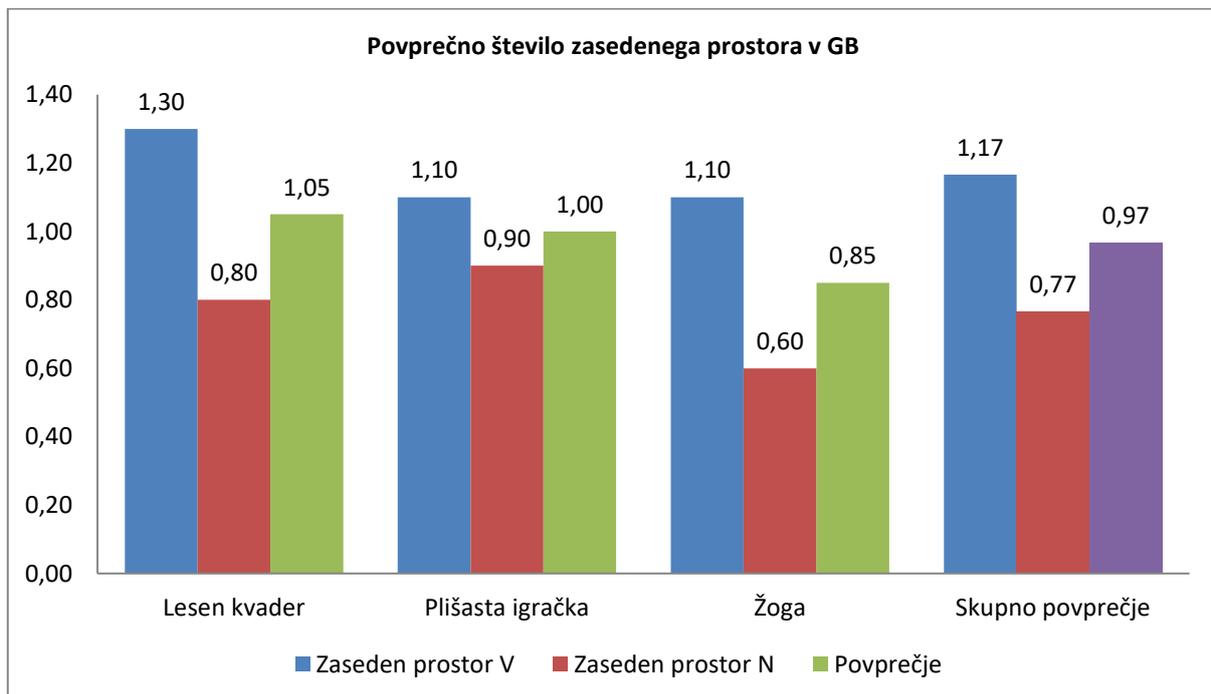
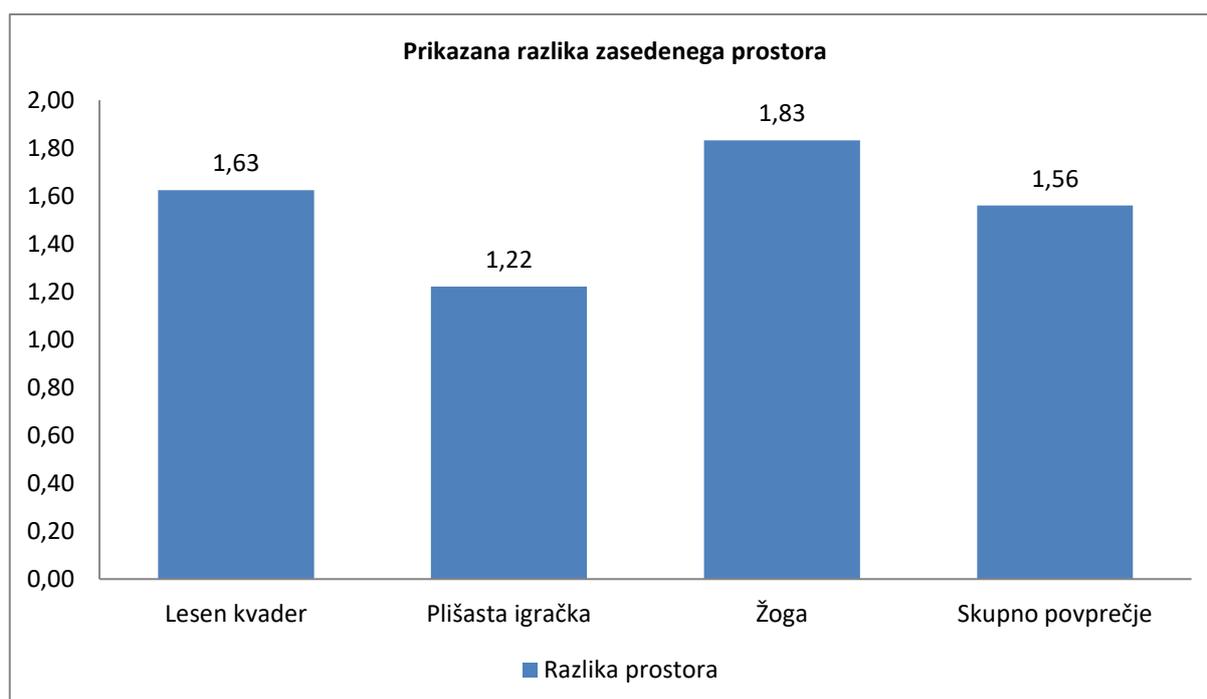


Tabela 8: razlika zasedenega prostora pri plačljivem programu



Grafa prikazujeta porabljen prostor 3D modelov ter razliko med porabo prostora 3D modelov iz boljših fotografij in 3D modelov iz slabših fotografij. Največ prostora za shranjevanje sta v povprečju porabila lesena kvadra s 1,05 GB. Zelo blizu sta jima tudi plišasti igrački, ki porabita 1 GB. Nato sledita še žogi, ki sta skupaj v povprečju porabili 0,85 GB prostora.

Največja razlika je nastala pri žogah, saj je bila kar 1,83-kratna. Sledila je razlika med lesenima kvadroma (1,63-kratna), najmanjša pa je bila razlika med plišastima igračkama (1,22-kratna).

Skupno povprečje zasedenega prostora je bilo tako 0,97 GB, skupno povprečje razlike v shranjevanju pa je bilo 1,56-kratno.

4. Skupna opredelitev:

Tabela 9: število oglišč pri brezplačnem programu in plačljivem programu

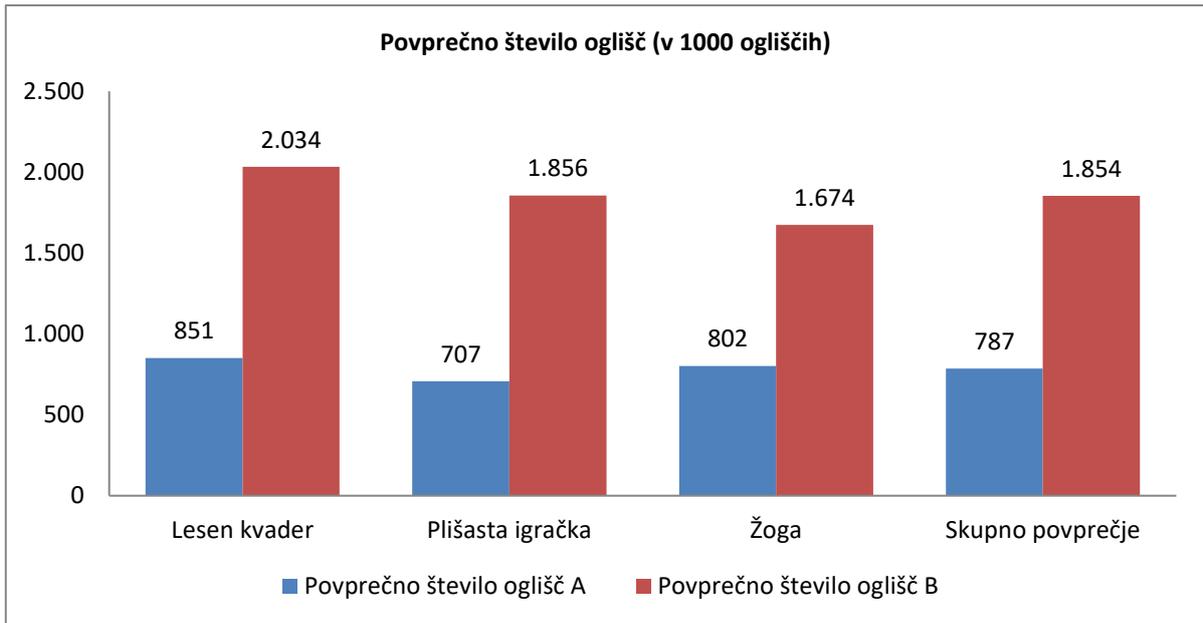
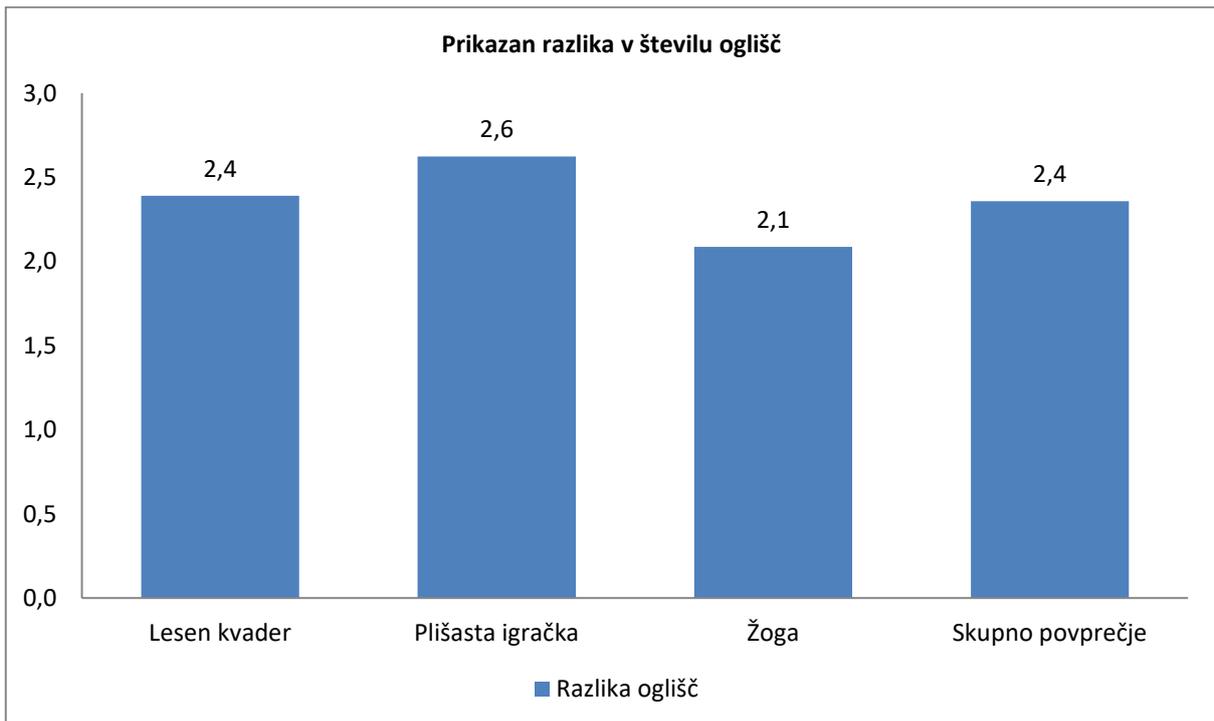


Tabela 10: razlika v številu oglišč pri brezplačnem in plačljivem programu



Grafa prikazujeta skupno primerjavo med programoma glede na število oglišč med brezplačnim in plačljivim programom. Kot lahko vidimo je plačljiv program iz enakih slik naredil

veliko več oglišč pri vseh 3D modelih. Skupno so bili v povprečju 3D modeli iz plačljivega programa narejeni iz zaokroženo 1.854.000 oglišč, 3D modeli iz brezplačnega programa pa iz 787.000 oglišč. Temu primerno je potem tudi skupno povprečje razlike oglišč, ki je 2,4-kratna.

Porabljen prostor:

Tabela 11: zaseden prostor pri shranjevanju iz brezplačnega in plačljivega programa

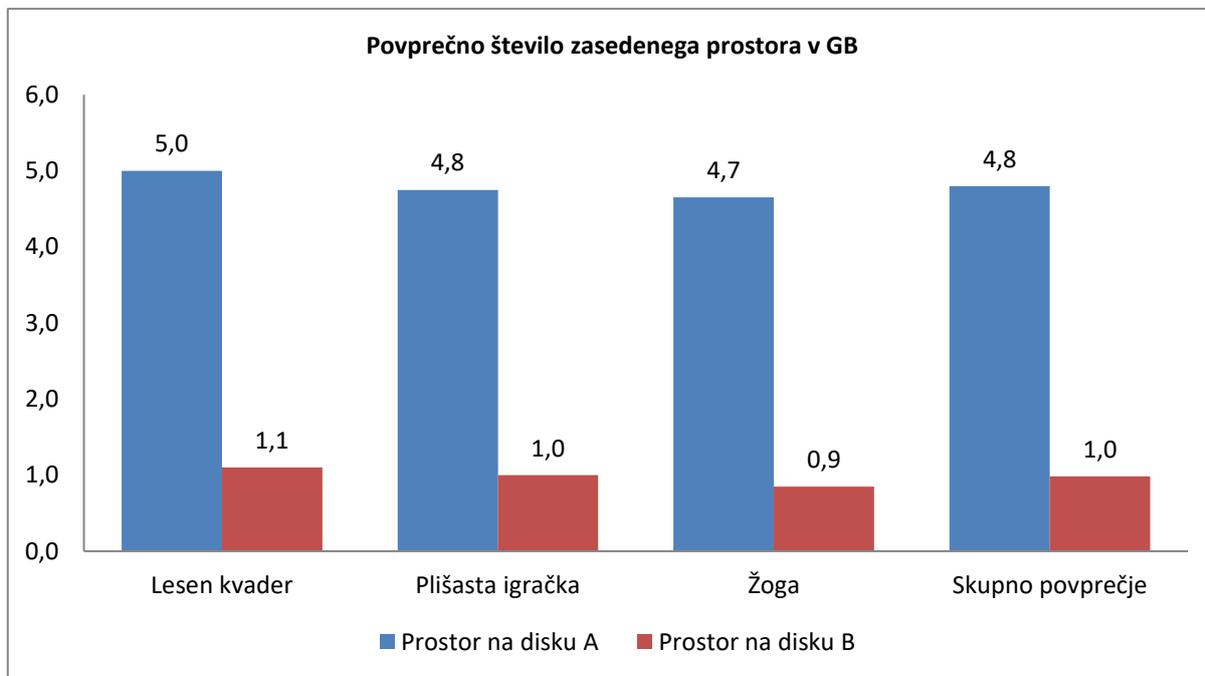
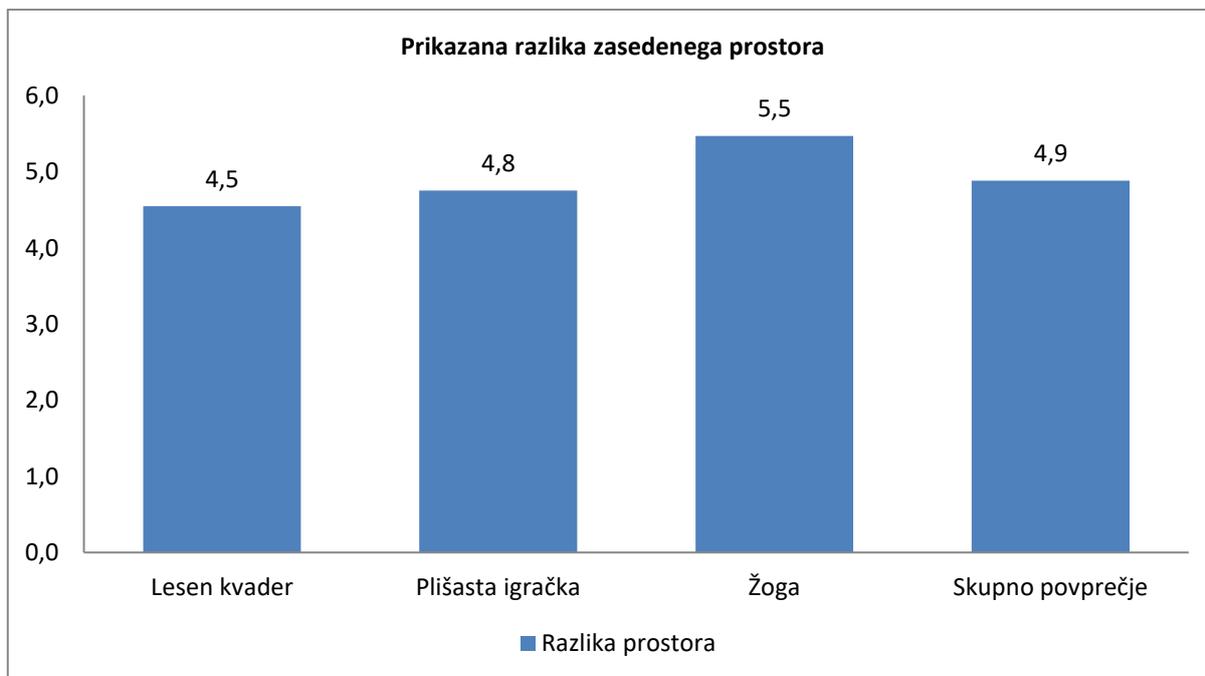


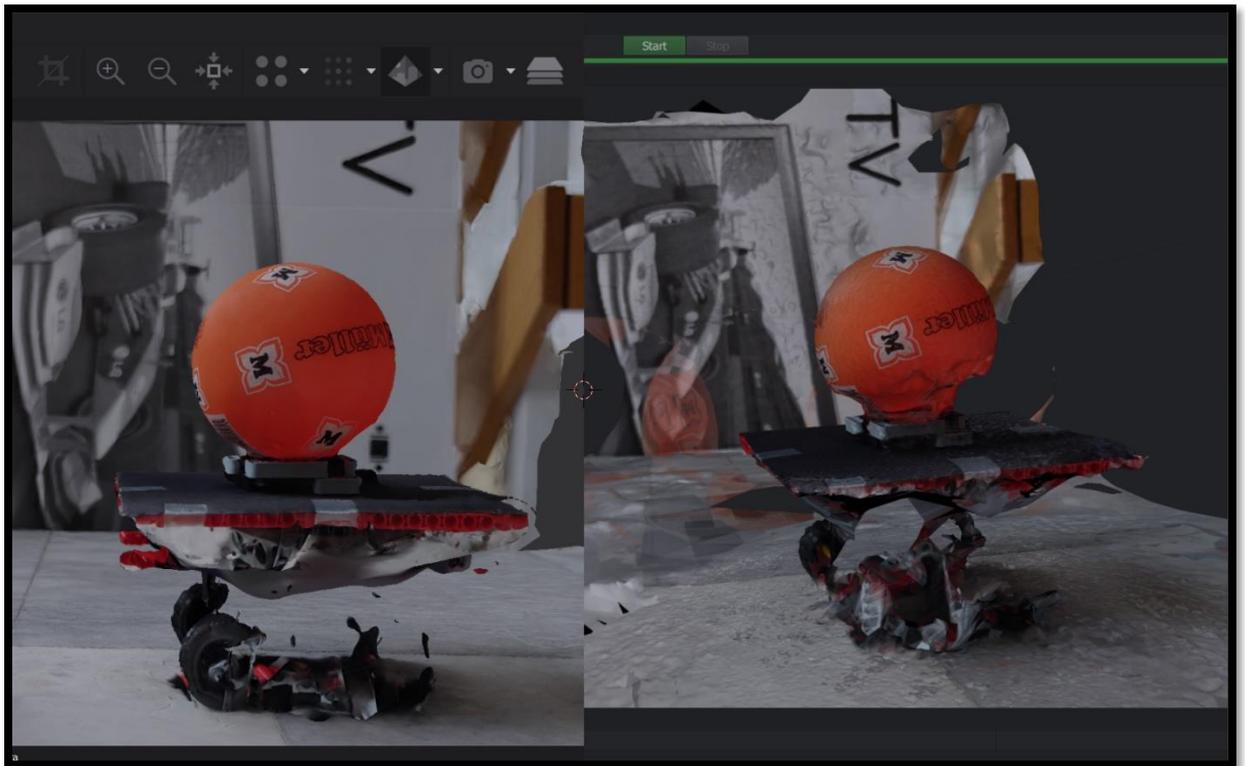
Tabela 12: razlika zasedenega prostora pri brezplačnem in plačljivem programu



Pri zadnjih dveh grafih je nastala velika zanimivost, saj je bila razlika tako velika, da je pri vseh 3D modelih presegala pričakovano in v se v skupnem povprečju povzpela do 4,9-kratne razlike. Največja razlika je nastala pri žogah in to kar 5,5-kratna.

3.5 Ugotovitve

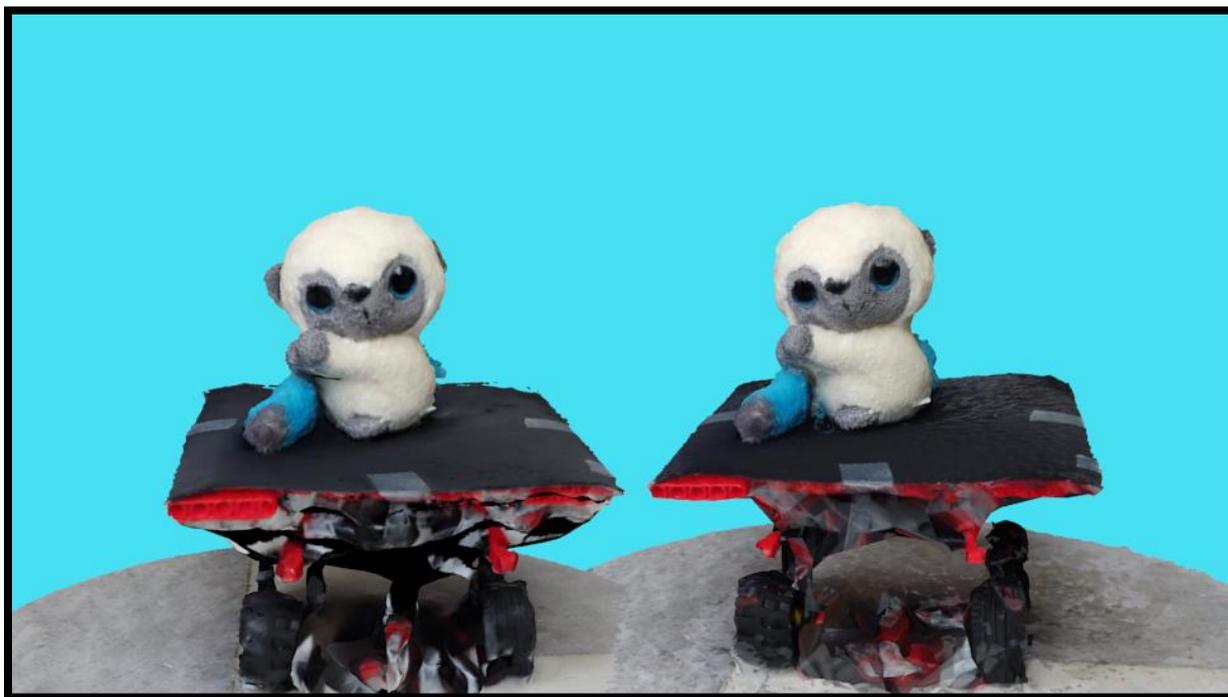
1. Ugotovil sem, da če je razlika v ločljivosti 4-kratna, to še ne pomeni, da bodo končni modeli imeli 4-krat več oglišč. Pri vseh narejenih 3D modelih je bila razlika med številom oglišč premeta iz višje ločljivostnih in premeta iz nižje ločljivostnih slik manj kot 4-kratno.
2. Prav tako to ne drži pri zasedenem prostoru, saj je bila pri vseh 3D modelih razlika med zasedenim prostorom 3D modela iz višje ločljivostnih slik in premeta iz slabših slik manj kot sem pričakoval. Razlika je bila manj kot 4-kratna.
3. Plačljiv program je iz enakih slik v povprečju naredil 2,4-krat več oglišč kot brezplačen program, hkrati pa je porabil veliko manj prostora na računalniku. Porabil je skoraj 5-krat manj prostora, kar je zelo pomembno, saj na primer nekdo, ki se s tem ukvarja profesionalno, naredi zelo veliko 3D modelov in bi tako veliko hitreje zapolnil svoj prostor za shranjevanje.
4. Plačljiv program je naredil vse modele dobro, oblika ga ni motila, prav tako je žogo, ki je bila s spodnje strani nekoliko slabše osvetljena, naredil tudi spodaj lepo okroglo. Brezplačen program pa nekaterih 3D modelov sploh ni naredil (videti je bilo, kot da bi pozabil na nekatere dele na sliki, kljub temu da je točke že v naprej pripravil).
5. Kljub vsem številkam pa se z prostim očesom razlike med modelom narejenim iz slik pri višji ločljivosti in slik pri nižji ločljivosti skoraj ne opazi.



Slika 22: primerjava žog (levo iz plačljivega programa, desno iz brezplačnega programa)



Slika 23: nepopolno narejen 3D model, kljub narejenimi začetnimi točkami

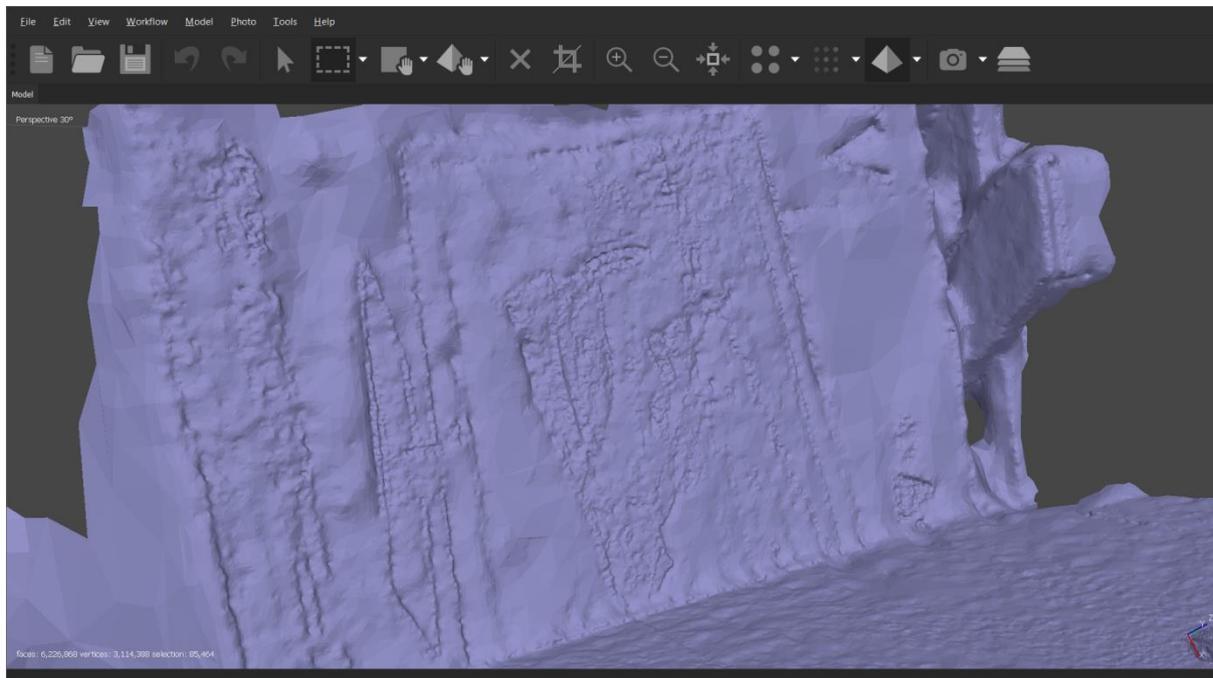


Slika 24: primerjava plišastih igračk (levo iz plačljivega programa, desno iz brezplačnega programa)

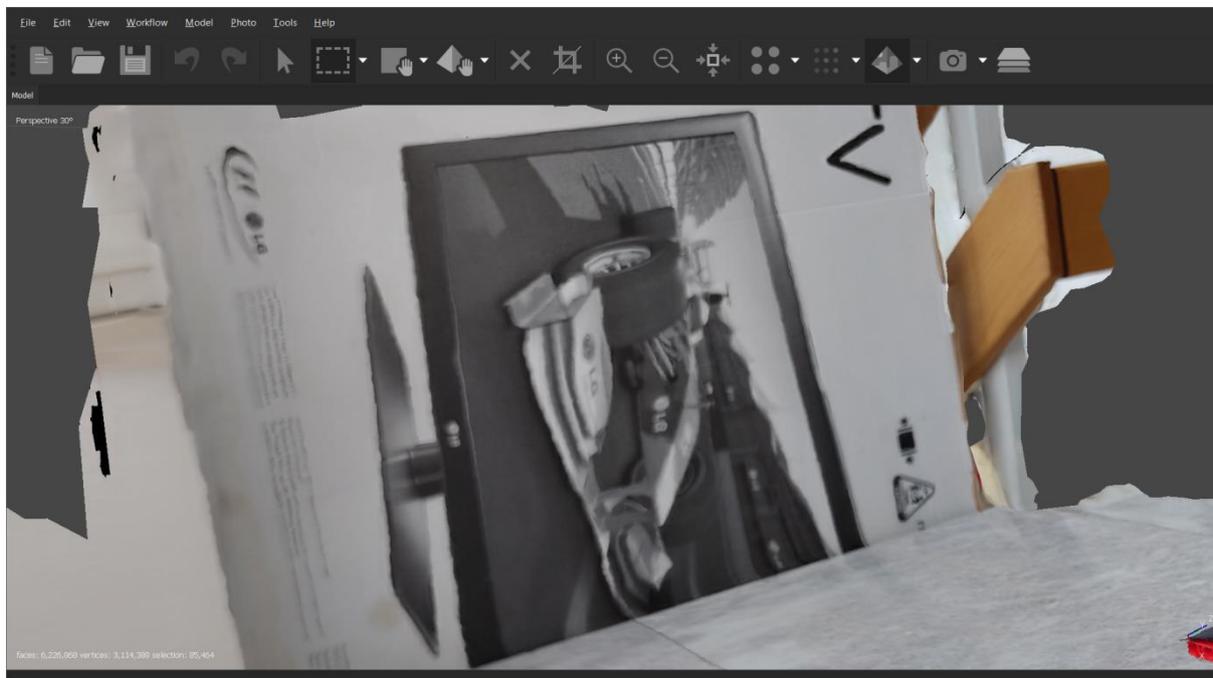
Pri nekaterih modelih sta oba programa opravila odlično.

3.6 Zanimivosti

Med poskusom sem naletel na nekatere zanimivosti, ki jih nisem ravno pričakoval in ena izmed njih je bila, da je program iz slike na kartonasti škatli naredil obris televizorja.



Slika 25: obris televizorja na škatli v brezbarvnem pogledu



Slika 26: pogled škatle televizorja z barvami

3.7 Potrjevanje hipotez:

1. Vsi 3D modeli bodo narejeni korektno.

HIPOTEZA ZAVRŽENA

Pri plačljivem programu so bili vsi 3D modeli narejeni korektno. Pri brezplačnem programu pa ne. Lesen kvader iz slik z nižjo ločljivostjo in lesen kvader iz slik z višjo ločljivostjo nista bila narejena v redu. Poleg njiju pa je bila nekorektno narejena tudi plišasta igračka iz slik z višjo ločljivostjo.

2. 3D modeli narejeni iz nižje ločljivostnih slik iz brezplačnega programa bodo naredili 4-krat manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik.

HIPOTEZA ZAVRŽENA

3D modeli narejeni iz brezplačnega programa iz nižje ločljivostnih slik v povprečju niso naredili 4-krat manj oglišč, saj imajo 3D modeli narejeni iz nižje ločljivostnih slik v povprečju več oglišč kot 3D modeli narejeni iz višje ločljivostnih slik. Tako je skupna razlika 0,94-kratna.

3. 3D modeli narejeni iz nižje ločljivostnih slik iz plačljivega programa bodo naredili 4-manj točk kot 3D modeli iz višje ločljivostnih slik.

HIPOTEZA ZAVRŽENA

3D modeli iz plačljivega programa so se 4-kratni razliki bistveno bolje približali, vendar pa jim je še zmeraj nekaj zmanjkalo, da bi hipotezo lahko potrdil. V povprečju so imeli 1,64-kratno razliko.

4. Modeli narejeni iz višje ločljivostnih slik iz brezplačnega programa ne bodo potrebovali 4 krat več prostora na disku.

HIPOTEZA POTRJENA

3D modeli iz višje ločljivosti so potrebovali 2,89-krat več prostora. Njihova povprečna poraba prostora znaša 7,13 GB, medtem ko poraba prostora 3D modelov iz nižje ločljivostnih fotografij znaša 2,47 GB.

5. **Modeli narejeni iz višje ločljivostnih slik iz plačljivega programa ne bodo potrebovali 4-krat več prostora na disku.**

HIPOTEZA POTRJENA

Hipoteza drži, saj je bila povprečna razlika lesenih kvadrov 1,63-kratna, pri plištastih igračkah 1,22-kratna, pri žogah pa 1,83-kratna. Skupno povprečje je bilo tako 1,56-kratno, kar pa sem pričakoval glede na velikosti shranjenih slik.

6. **Plačljiv program bo naredil bolj kakovostne 3D modele kot brezplačen program.**

HIPOTEZA POTRJENA

Saj so 3D modeli iz plačljivega programa naredili veliko razliko glede na oglišča, hkrati pa so potrebovali bistveno manj prostora. V povprečju so naredili zaokroženo 1.845.000 oglišč, medtem ko so 3D modeli iz brezplačnega programa naredili zgolj 787.000 oglišč. Povprečna razlika je tako 2,36-kratna. Pri shranjevanju pa 4,8 GB, pri brezplačnem programu pa v povprečju 1 GB. Razlika je tako preseгла pričakovanja in je bila kar 5-kratna.

3.8 Moje mnenje o programih

Med poskusom sem naletel na kar nekaj težav, ki so mi vzele veliko časa, da sem jih odpravil:

1. **Nalaganje programa:** plačljiv program se naloži kot .exe datoteko in nisem imel težav z nalaganjem, medtem ko se brezplačen program naloži kot .zip datoteko. Zaradi tega sem imel na začetku nekaj težav, saj se mi program ni želel zagnati, hkrati pa je za nekoga, ki nima veliko izkušenj s tem, težje naložiti stvari iz .zip mape.
2. **Delovanje:** pri plačljivem programu nisem imel težav in mi je v prvo uspelo narediti 3D model, medtem ko se je brezplačen program na sredini delovanja ustavil. Na koncu nisem ugotovil, zakaj se je ustavil, sem pa na internetu prebral, da ima verzija 2020 lahko nekaj težav pri delovanju in da je bolje, če naložim nekoliko starejšo verzijo 2018. Na starejši verziji nisem imel več nikakršnih težav.
3. **Uporaba:** sprva sem želel meriti tudi čas izdelovanja 3D modelov, vendar pa sem moral to na koncu zaradi tehničnih težav opustiti. Moj računalnik ni imel dovolj zmogljive grafične kartice, zato mi je mentor priskrbel šolski računalnik, ki je to imel. Vendar pa sem vmes naletel na drugo težavo. Šolski računalnik ima grafično kartico proizvajalca AMD in na AMD-jevih grafičnih karticah programi sami ne delujejo, saj so bili izdelani za Nvidia grafične kartice in tako je bil, čeprav boljši računalnik kljub temu neuporaben.
4. Pri brezplačnem programu so se kot sem že omenil nekateri 3D modeli ponesrečili in na koncu za to nisem našel razloga.

Moje mnenje je, da če programe uporabljaš bolj resno, se splača kupiti plačljiv program, saj sem imel s tem bistveno manj težav. Primer: nekdo, ki se s tem poklicno ukvarja po navadi nima časa, da bi se ukvarjal z nekaterimi primeri, ko mu brezplačen program nečesa ni naredil, če pa ima na razpolago plačljiv program, ki s tem ni imel nikakršnih težav.

Če pa uporabljaš program za domačo rabo, potem pa mislim, da bi raje poskusil odpraviti napako, kot da bi kupoval programsko opremo.

4 Zaključek

Fotogrametrija se mi je zdela zelo zanimiva veda, ki je hkrati tudi zelo uporabna na različnih področjih, zato sem z veseljem raziskoval in izvajal poskuse o njej. V eksperimentalnem delu sem ugotavljal, kako pomembna je pri tem dobra kvaliteta kamere, kako oblika vpliva na izdelavo modela ter kako na to vpliva program, ki izdeluje 3D model. Ugotovil sem, da ima program pomembno vlogo, hkrati pa nekaj pri tem pripomore tudi kamera. Sem pa zadovoljen, saj sem se s tem veliko novega naučil, kar bom lahko še naprej uporabljal pri nadaljni uporabi fotogrametrije in na kaj bom moral biti pri tem pozoren.

Sicer pa bi lahko raziskavo še izboljšal. Na primer lahko bi kot sem že omenil meril časa izdelave 3D modela, zanimivo bi bilo tudi izvedeti, kako na izdelavo vpliva barva. Na primer žogo bi pobarval v eno barvo in tako videl, ali se bi pri iskanju točk program zmedel ali bi vseeno naredil dobre 3D modele. Mogoče bi si lahko v prihodnje ogledal že omenjene studie za fotografiranje, saj si jih zaradi sedanjih razmer nisem mogel.

5 Viri in literatura

VIRI KNJIG

Ažvednik: ilustrirani leksikon za šolarje. 2010. 1. Natis. Ljubljana. ISBN 978-961-01-1238-9

Gorjup, Zvonimir. Fotogrametrija: srednje izobraževanje geodezija. 1991. Ljubljana.

SPLETNI VIRI

- Fotogrametrija

<https://en.m.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry>

Pridobljeno 10.12.2020

- Fotogrametrija

<http://www.photogrammetry.com/>

Pridobljeno 10.12.2020

- Fotogrametrija

https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=sl&prev=search&pto=aue&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://www.dictionary.com/browse/photogrammetry&usg=ALkJrhjEvsW-LiHLPpwx5pwytm4lcjR2uw

Pridobljeno 21.12.2020

- Izdelava 3D modelov

<https://translate.google.com/translate?hl=sl&sl=en&u=https://www.gislounge.com/making-3d-models-photogrammetry/&prev=search&pto=aue>

Pridobljeno 11.1.2021

- DEM

https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=sl&prev=search&pto=aue&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://srtm.csi.cgiar.org/&usg=ALkJrhhtVu6zod2ztevXYLS22D3AzbXQMg

Pridobljeno 22.12.2020

- Fotogrametrija uvod

https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=sl&prev=search&pto=aue&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://www.gislounge.com/a-brief-introduction-to-photogrammetry-and-remote-sensing/&usg=ALkJrhgJaLlwq_xzYBdVE6ipCcRFR9b0yA

Pridobljeno 2.1.2021

- Fotogrametrija zgodovina

https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf

Pridobljeno 2.1.2021

- Fotogrametrija

<https://translate.google.com/translate?hl=sl&sl=en&u=https://www.britannica.com/science/photogrammetry&prev=search&pto=aue>

Pridobljeno 2.1.2021

- 3D model

<https://translate.google.com/translate?hl=sl&sl=en&u=https://whatis.techtarget.com/definition/3D-model&prev=search&pto=aue>

Pridobljeno 2.1.2021

- 3D modeliranje

https://translate.google.com/translate?hl=sl&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling&prev=search&pto=aue

Pridobljeno 5.1.2021

- Modeliranje

https://studentski.net/gradivo/ulj_fri_ri1_rgt_sno_modeliranje_01_predstavitev

Pridobljeno 12.1.2021

- 3D

https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=sl&prev=search&pto=aue&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://whatis.techtarget.com/definition/3-D-three-dimensions-or-three-dimensional&usg=ALkJrhgDsqC-wtqjH-jbN6dP9OpflAtqhQ

Pridobljeno 12.1.2021

- Kako fotogrametrija deluje

<https://translate.google.com/translate?hl=sl&sl=en&u=https://www.photomodeler.com/how-does-photogrammetry-work/&prev=search&pto=aue>

Pridobljeno 13.1.2021

- Film The impossible

<https://www.photomodeler.com/pm-applications/film-anim/theimpossiblemovie/>

Pridobljeno 3.2.2021

- Delovanje fotogrametrije

<https://www.photomodeler.com/products/how-it-works/>

Pridobljeno 17.1.2021

- Delovanje fotogrametrije

<https://www.photomodeler.com/how-does-photogrammetry-work/>

Pridobljeno 17.1.2021

- Perspektiva

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Perspektiva_\(likovna_umetnost\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Perspektiva_(likovna_umetnost))

Pridobljeno 24.1.2021

- Piksli

<https://thesmartphonephotographer.com/how-phone-camera-works/>

Pridobljeno 24.1.2021

VIRI SLIK

- **Slika 1 – 3D model**

<https://www.cgtrader.com/3d-models/car/concept/tesla-cybertruck-2019>

Pridobljeno 5.1.2021

- **Slika 2 – Sestava 3D modela**

Avtor Nejc Zalokar

Narejeno 5.1.2021

- **Slika 3 – Perspektiva**

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fcz.pinterest.com%2Fpin%2F528680443753716624%2F&psig=AOvVaw136FfTUiflNyDmfWA2cZmx&ust=1621002388821000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPjojNTuxvACFQAAAAAdAAABAD>

Pridobljeno 24.1.2021

- **Slika 4 - Piksli**

<https://thesmartphonephotographer.com/how-phone-camera-works/>

Pridobljeno 24.1.2021

- **Slika 5 - Fotogrametrija**

<https://3dscanexpert.com/free-3d-scanning-video-smartphone/>

Pridobljeno 10.12.2021

- **Slika 6 - DEM**

<http://www.moderngeotech.com/remote-sensing/%D9%86%D9%85%D8%A7%D8%B0%D8%AC-%D8%A7%D9%84%D8%A5%D8%B1%D8%AA%D9%81%D8%A7%D8%B9-%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%82%D9%85%D9%8A%D8%A9-dem-%D9%88%D8%A3%D9%86%D9%88%D8%A7%D8%B9%D9%87%D8%A7/>

Pridobljeno 22.12.2020

- **Slika 8 – Zemeljska fotogrametrija**

<https://www.google.si/maps>

Pridobljeno 2.1.2021

- **Slika 9 – Satelitska fotogrametrija**

<https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>

Pridobljeno 2.1.2021

- **Slika 10 - Arheolog**

<https://en.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry#/media/File:Jiska-Photomapping-Drawing.jpg>

Pridobljeno 10.12.2020

- **Slika 11 – Začetne slike:**

Avtor Nejc Zalokar

Narejeno 27.2.2021

- **Slika 12 - Studio:**

<https://xangle3d.com/>

Pridobljeno 17.1.2021

- **Slika 13 – Prikaz vrtenja kamere:**

<https://translate.google.com/translate?hl=sl&sl=en&u=https://www.gislounge.com/making-3d-models-photogrammetry/&prev=search&pto=aue>

Pridobljeno 11.1.2021

- **Slika 14 – Iskanje skupnih točk**

<https://translate.google.com/translate?hl=sl&sl=en&u=https://www.photomodeler.com/how-does-photogrammetry-work/&prev=search&pto=aue>

Pridobljeno 17.1.2021

- **Slika 15 – Algoritem bundle adjustment**

https://www.google.com/search?q=bundle+adjustment&rlz=1C1CHZO_sISI902SI902&sxsrf=ALeKk01gXwXZBebry_IKXw3IaP-9n6v6ww:1620932786414&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjI9sCXrcfwAhUosKQKHZVNAFcQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=722#imgrc=rHTH1NefeezE0M&imgdii=ldWwlgISLCUKdM

Pridobljeno 27.2.2021

- **Slika 16 – Skupne točke:**

https://www.researchgate.net/figure/Typical-camera-configuration-of-bundle-adjustment-in-close-range-photogrammetry_fig17_330555127

Pridobljeno 17.1.2021

- **Slika 17 – Končni 3D model**

Avtor Nejc Zalokar

Narejeno 28.11.2020