



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Modellering og optimalisering av 3D-modeller med minst mulig tap av kvalitet

Modeling and optimization of 3D models with the least possible loss of quality

Gruppe D44

Pål Blomberg, Regine Drange Eriksen, Daniel Straume Feste, Fredrik Valset

DAT191

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap
Institutt for datateknologi, elektroteknologi og realfag
Dataingeniør/Informasjonsteknologi

Veileder Atle Birger Geitung
Innleveringsdato 23.05.22

TITTELSIDE FOR HOVEDPROSJEKT

<i>Rapportens tittel:</i> Modellering og optimalisering av 3D-modeller med minst mulig tap av kvalitet	<i>Dato:</i> 23.05.2022
<i>Forfatter(e):</i> Pål Blomberg, Regine Drange Eriksen, Daniel Straume Feste, Fredrik Valset	<i>Antall sider u/vedlegg:</i> 33
	<i>Antall sider vedlegg:</i> 0
<i>Studieretning:</i> Dataingeniør	<i>Antall disketter/CD-er:</i> 0
<i>Kontaktperson ved studieretning:</i> Atle Birger Geitung	<i>Gradering:</i> A-F
<i>Merknader:</i>	

<i>oppdragsgiver:</i> Spello og TekLab	<i>oppdragsgivers referanse:</i>
<i>oppdragsgivers kontaktperson:</i> Audun Klyve Gulbrandsen	<i>Telefon:</i> 988 30 192

<p><i>Sammendrag:</i> Målet med dette prosjektet var å utforske hvordan 3D-modeller laget i <i>RealityCapture</i> kan reduseres mest mulig, uten at dette går på bekostning av kvaliteten, for bruk i Mozilla Hubs med WebXR. Det ble valgt å se nærmere på tre hovedpunkter og lage seks 3D-modeller for å ha et godt vurderingsgrunnlag. Bachelorgruppen konkluderte med at RealityCapture var et bra verktøy til dette bruk, men med visse begrensninger.</p> <p><i>Summary:</i> The goal of this project was to explore how 3D models made with RealityCapture can be reduced as much as possible, without being detrimental to the quality of the 3D models, when used in Mozilla Hubs with WebXR. Three main points were chosen to be the focus of the project, and six 3D models were made to be the assessment basis. The project concluded that RealityCapture was a good tool to be used as a basis, but it has certain limitations that will need to be considered.</p>
--

Stikkord:

RealityCapture	VR	Mozilla Hubs	WebXR	3D-modeller
----------------	----	--------------	-------	-------------

FORORD

Dette prosjektet er kulmineringen av et treårig bachelorstudium i dataingeniør gjennom Høgskolen på Vestlandet. Vi vil takke oppdragsgiver *Spello*, som gav oss mulighet til å få jobbe åpent med en så interessant teknologi som *RealityCapture*, og da spesielt *Audun Klyve* og *Joakim Vindenes* som var meget hjelpsom gjennom hele prosessen, og alltid ga oss rask tilbakemelding eller svar når det var noe vi lurte på i forbindelse med prosjektet.

Dette har gitt oss mange erfaringer og innføringer i flere teknologier som kan være relevante for fremtiden.

Gjennom prosjektet har vi lært mye, og da prosjektet var åpent fra starten og ingen av oss hadde noe tidligere erfaringer med teknologien som skulle utforskes, ble det en del frem og tilbake gjennom prosjektperioden. Dette var til tider krevende for oss, fordi vi hele tiden ønsket å holde dette prosjektet så relevant for oppdragsgiveren som overhodet mulig.

Retningen prosjektet til slutt tok, var en veldig spennende retning for oss, siden vi da fikk bruke mange spennende teknologier, og lære oss flere teknikker som kan være veldig relevante for for fremtiden.

Vi ønsker også å takke *Atle Birger Geitung* som har vært vår veilederen. Takk for god veiledning og konstruktiv kritikk.

Stor takk til *Frode Blomberg*, *Geirmund Tryti* og *Marie Oen Valset* for god hjelp og motivasjon under skrivingen av denne bacheloroppgaven.

Dette prosjektet var en fin avslutning på studieløpet, og det var veldig interessant å få være med å utforske denne teknologien.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	iii
1 INNLEDNING	1
1.1 Kontekst	1
1.2 Oppdragsgiver	1
1.3 Motivasjon	2
1.4 Problembeskrivelse og mål	2
1.5 Oppbygging av rapporten	2
2 PROSJEKTBEKRIVELSE	4
2.1 Teknologi	4
2.1.1 Grafikk	4
2.1.2 Mozilla Hubs og WebXR	5
2.1.3 Reality Capture	6
2.1.4 Tidligere arbeid med RealityCapture	6
2.2 Initiell løsningsidé	7
2.3 Avgrensninger	7
2.4 Valg av verktøy	8
3 PROSJEKTMETODIKK	9
3.1 Valg av metoder for arbeidet	9
3.2 Datainnsamlingen	10
3.2.1 Reduksjon av antall polygoner gjennom etterbehandling	10
3.2.2 Hvordan ulike lysforhold påvirker modellering i RealityCapture	10
3.2.3 Utdfordringer med reflekterende overflater	11
3.3 Mulige feilkilder for datainnsamlingen	11
3.4 Risikovurdering	11
4 FREMGANGSMÅTE	12
4.1 Lysforhold	12
4.2 Polygoner	13
4.2.1 Manuell retopologi	13
4.2.2 Automatisk retopologi	14
4.2.3 Diskusjon av alternativene og valgt løsning	14
4.3 Tekstur	15
5 VALG AV MODELLER	17
Modell nr. 1, utendørsmodell: Søyale fra Lyse Kloster	17
Modell nr. 2, utendørsmodell: Statue	18

Modell nr. 3, hjemmemodell: Salmebok	18
Modell nr. 4, hjemmemodell: Treutskjæring	19
Modell nr. 5, fotostudiomodell: Inkastatue	19
Modell nr. 6, fotostudiomodell: Lysholder av tinn	20
6 RESULTATER	21
6.1 Evalueringsmetode	21
6.2 Evalueringsresultat	21
6.2.1 Modell nr. 1, utendørsmodell: Søyler	21
6.2.2 Modell nr. 2, utendørsmodell: Statue	23
6.2.3 Modell nr. 3, hjemmemodell: Salmebok	24
6.2.4 Modell nr. 4, hjemmemodell: Treutskjæring	25
6.2.5 Modell nr. 5, fotostudiomodell: Inkastatue	26
6.2.5 Modell nr. 6, fotostudiomodell: Lysholder av tinn	27
7 DISKUSJON	28
7.1 Lysforholdenes innvirkning	28
7.2 Reduksjon av polygoner	28
7.3 Gjenskinn	29
7.4 Andre erfaringer fra utført arbeid	29
8 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID	30
8.1 Konklusjon	30
8.2 Videre arbeid	30
9 REFERANSER	32

ORDLISTE

API	Application Programming Interface. Et grensesnitt som gir en koblingen for å utveksle data mellom maskiner og programvare
AR	Augmented Reality (utvidet virkelighet). Er en teknologi som forbedrer eller erstatter et virkelig miljø med et simulert miljø
Fotogrammetri	Læren om måling i fotografiske bilder for å bestemme geometriske egenskaper som form, størrelse og beliggenhet av fotografert objekter
GLB format	GL Transmission Format Binary File. Standardisert filformat for 3D-data
Kant	Komponent i en 3D-modell. Kant er en rett linje som kobler sammen noder
Mozilla Hubs	Online platform for 3D-samarbeid
Noder	Komponent i en 3D-modell. Node er et enkelt informasjonspunkt
Polygon	Komponent i en 3D-modell. Tre eller flere kanter blir til en polygon.
Polygonnett	Inneholder strukturen til en 3D-modell
Punktsky	Er et sett av punkter i et koordinatsystem som inneholder fargeverdier og som blir brukt for til å lage en 3D-modell
Rendering	En prosess som beregner og tegner en 3D-modell
Retopologi	En teknikk som er brukt til å forenkle 3D-modeller
Scene	En scene i grafisk sammenheng vil si en samling av 3D-elementer, inkludert lys og kamera
Tekstur	En tekstur er et bilde i 2D som blir projisert på en 3D-modell
Teksturoppløsning	Representerer den aktuelle oppløsningen i piksler av en tekstur som er knyttet til en 3D-modell
UV avbildning	3D-modelleringsprosess for å få 2D bilder til å fungere på en 3D-modell
VR	Virtual Reality er en virtuell opplevelse som oppleves med et VR headset
WebXR	WebXR er en API gjør det mulig å koble til et VR headset til en 3D-scene i nettleseren

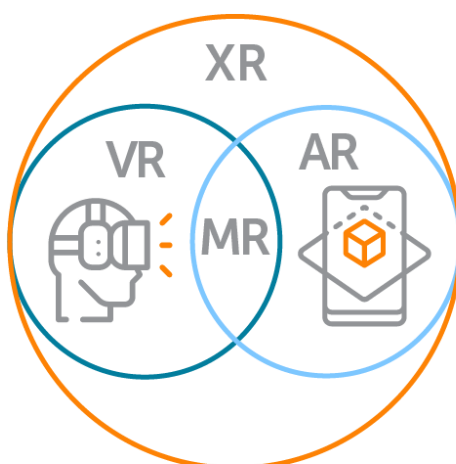
XR	Extended Reality. Samlebetegnelse på virtuelle miljøer slik som AR og VR
2K	Indikerer at oppløsningen er på 2048 x 2048 piksler
4K	Indikerer at oppløsningen er på 4096 x 4096 piksler
8K	Indikerer at oppløsningen er på 8192 x 8192 piksler

1 INNLEDNING

I innledningen vil leseren få oversikt over konteksten bak prosjektet, hvem som er oppdragsgiver, motivasjon for prosjektet og hvilke problemstillinger og mål som skal undersøkes i løpet av prosjektet.

1.1 Kontekst

Dette bachelorprosjektet ble til etter ønske fra oppdragsgiveren *Spello*, i samarbeid med *TekLab*. Bakgrunnen var at *Spello* hadde et ønske om å tilegne seg kunnskap om bruksområdene til programmet *RealityCapture*. *RealityCapture* er et fotogrammetriprogram som lager fotorealistiske 3D-modeller, ved hjelp av bilder eller skanning (*About-Us - CapturingReality.com*, 2022). *Spello* har spesialisert seg i bruk av Extended Reality (XR). XR er en samlebetegnelse som omfatter Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR) og Virtual Reality (VR), Figur 1. De har fokusert på prosjekter laget i VR, og derfor ønsket de å se mer på bruksområdene til *RealityCapture* i en slik sammenheng.



Figur 1: Hvordan XR, VR, MR og AR relateres til hverandre (wowza.com).

1.2 Oppdragsgiver

Spello ble etablert i juni 2020 og holder til i Media City Bergen. De jobber med å utvikle løsninger for læring og formidling i XR, med særlig fokus på scenariotrening basert på stereoskopisk (3D) 360-video. Prosjektene er innenfor sektorene utdanning og forskning, samt museer og reiseliv.

I tillegg til eksterne kunder, har de også egne prosjekter der de utforsker nye teknologier. Målet til *Spello* er å gjøre læring levende og interaktivt, og dermed utnytte potensialet i bruk av omsluttende teknologier (*Spello*).

TekLab er et nettverk for forskning, utdanning og innovasjon innen medie og kommunikasjonssektoren. I samarbeid med lokale og nasjonale teknologifirmaer, fokuserer de på å fremme teknologiutvikling i skjæringspunktet mellom forskning og utdanning. *TekLab* er lokalisert ved Institutt for informasjons- og medievitenskap ved Universitet i Bergen, og har adresse ved Media City Bergen (*TekLab*)

1.3 Motivasjon

Spello har et ønske om å tilegne seg kunnskap om hvordan programvaren *RealityCapture*, kan brukes i deres arbeidsprosesser. De har vært litt innom fotogrammetri i tidligere prosjekter, men med varierende resultat.

I løpet av høsten 2021 jobbet *Spello* med et oppdrag der det var aktuelt å bruke fotogrammetri. Det var viktig at resultatet var av høy kvalitet, uten at dette gikk ut over ytelsen. *Spello* fant ut at *RealityCapture* var en løsning som er mye brukt, og kunne passe godt for dette prosjektet.

Siden de ikke selv hadde erfaring med dette, ble det hentet inn en ekstern aktør som hadde spisskompetanse innen *RealityCapture*. Det ble også gjort en test internt i *Spello* med bilder fra drone, høsten 2021. Resultatet var lovende, og *Spello* bestemte seg for å investere mer tid i *RealityCapture*, slik at det kunne tas i bruk i flere prosjekter i fremtiden.

1.4 Problembeskrivelse og mål

Spello er interessert i å lære mer om bruksområdene til *RealityCapture*, og hvordan 3D-modeller fra *RealityCapture* blir presentert i *Mozilla Hubs* med *WebXR*. Her vil det være spesifikke krav som må oppfylles, da *WebXR* brukes for å vise VR opplevelser fra en nettleser. Det viktigste kravet er at filstørrelsen til modellen er minst mulig. Derfor har vi valgt følgende problemstilling:

“Hvordan kan modeller laget i *RealityCapture* reduseres mest mulig, uten at dette går på bekostning av kvaliteten?”

Dette er en problemstilling som er veldig relevant for *Spello*, da de bruker *Mozilla Hubs* med *WebXR* som grensesnitt for deres VR prosjekter i nettleser.

1.5 Oppbygging av rapporten

Kapittel 1 skal gi leseren av denne rapporten en innføring i bakgrunnen for prosjektet, motivasjonen, oppdragsgiver og hvilke problemstillinger og mål som blir satt i dette prosjektet.

Kapittel 2 skal gi leseren en oversikt over teknologiene i dette prosjektet, samtidig som det gis en innføring i hvordan disse teknologiene fungerer, noe som er essensielt for forståelse for prosjektgjennomføringen.

Kapittel 3 forklarer metodikk, feilkilder, risiko og hvordan datainnsamlingen i dette prosjektet vil fungere.

Kapittel 4 beskriver fremgangsmåten til noen viktige tema, som forklarer hvordan dette blir gjort spesifikt i dette prosjektet.

Kapittel 5 gir oversikt over objektene som ble valgt ut til å 3D-modelleres.

Kapittel 6 forteller om evalueringsmetode og evalueringsresultatet på alle modellene.

Kapittel 7 diskuterer resultatene og forklarer også endel andre erfaringer som har blitt gjort med *RealityCapture* underveis i dette prosjektet.

Kapittel 8 er konklusjonen av resultatet og en forklaring på videre arbeid som kunne vært interessant.

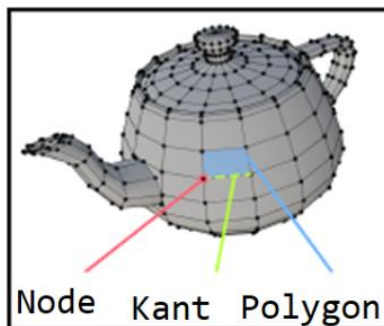
2 PROSJEKTBEKRIVELSE

I dette kapitlet skal leseren få et innblikk i hvilke teknologier som benyttes i dette prosjektet, samt en grunnleggende innføring i hvordan disse virker. Videre vil også den initielle løsningsideen og avgrensninger presenteres.

2.1 Teknologi

2.1.1 Grafikk

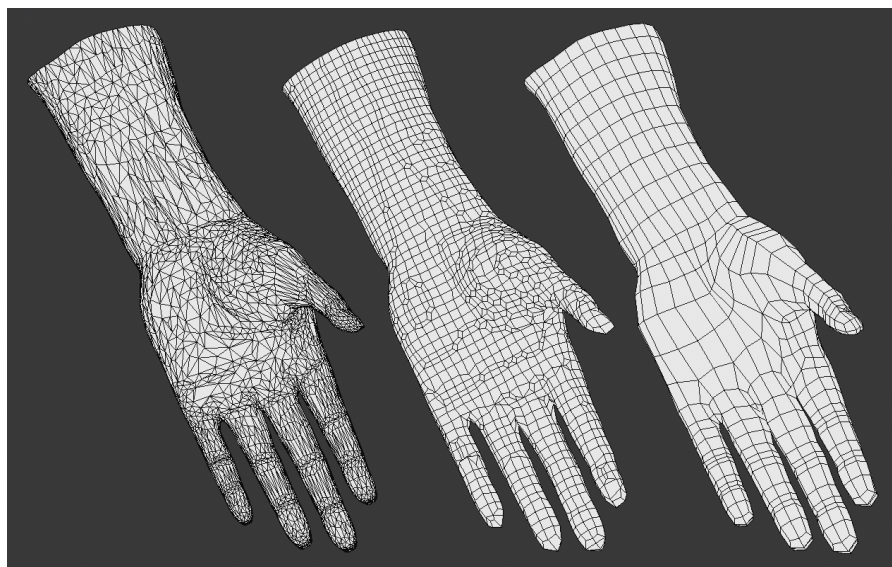
For å få en forståelse om hva en 3D-modell består av, er det nødvendig å introdusere noen grunnprinsipper om hvordan forskjellige komponenter innenfor grafikk fungerer. I en 3D-modell er det tre grunnleggende komponenter.



Figur 2: Illustrerer hvordan node, kant og polygon relaterer til hverandre (Baechler and Greer, 2020, P. 12).

Disse kalles for node, kant og polygon. En node er et enkelt punkt, og en kant er en rett linje som kobler sammen to noder. Et polygon er området som blir til etter man har koblet sammen tre eller flere kanter (Baechler and Greer, 2020, chap. 1).

Når man har koblet sammen mange polygoner, får man det som kalles et polygonnett. Polygonnettet inneholder strukturen til en 3D-modell. Strukturen blir videre kalt topologi, og denne beskriver hvordan polygonene er satt sammen i 3D-modellen (Baechler and Greer, 2020, chap. 1). Dette er ikke det samme som fasong, da to like fasonger kan ha ulik topologi



Figur 3: Her ser man en 3D-modell som har samme fasong i alle eksemplene, men ulik topologi (Baechler and Greer, 2020, p. 445)

Neste steg i 3D-modelleringen, er å legge en tekstur over polygonnett. Dette gjøres ved å representere alle overflatene til modellen, på en 2D avbildning. Dette blir også kalt UV avbildning, etter koordinataksene U og V, da X og Y er allerede brukt som akser (Verma, 2021).



Figur 4: Teksturen er illustrert i 2D-format, men blir 3D når den legges over polygonnett (Baechler and Greer, 2020, p. 500)

Oppløsningen til teksturavbildningen bestemmer hvor detaljert modellen vil være, og blir definert i piksler (Burke). Høyere oppløsning vil gi høyere detaljnivå på avbildningen, men krever også mer systemressurser for å rendre.

2.1.2 Mozilla Hubs og WebXR

For å presentere 3D-modeller er det vanlig å organisere disse i en scene. En scene i grafisk sammenheng vil si en samling av 3D-elementer, inkludert lys og kamera (Eck, 2021, chap. 4). Hvis en scene har mange krevende 3D-elementer, vil dette sette begrensninger på hvor stor en 3D-modell kan være, da det er den totale størrelsen på scenen som gjelder.

I dette prosjektet skal 3D-modellene presenteres i en *Mozilla Hubs* scene sammen med *WebXR*. *WebXR* er en API for nettlesere og applikasjoner, som brukes for å koble til et VR-headsett eller VR-briller (*Fundamentals of WebXR*, 2022).

Mozilla Hubs er bygget med *three.js*, som er et 3D-javascript bibliotek, og forenkler oppsettet av en grafisk scene (*GitHub - mozilla/Spoke*, 2022). Det er *Mozilla Hubs* som tar seg av alt som har å gjøre med opplasting av 3D-modeller og tegning av scenen, mens *WebXR* kontrollerer det som har med synsvinkel og eksternt utstyr å gjøre (*Fundamentals of WebXR*, 2022).

I *Mozilla Hubs* må VR opplevelsen lastes ned i nettleseren, og det setter dermed begrensninger for ytelsen. Det er den totale mengden elementer i scenene som setter grensen for størrelsen i scenen, og i *Mozilla Hubs* er denne på 128 MB (*Hubs by Mozilla*). Dette er inkludert lys, kamera og eventuelt annet interiør, i tillegg til 3D-modellene en vil vise.

3D-modeller laget med *RealityCapture*, blir alltid laget med et svært høyt antall polygoner. Dette kan være opptil flere millioner. En 3D-modell som skal brukes i *Mozilla Hubs* med *WebXR*, inneholder som regel aldri mer enn 50.000 polygoner. I følge *Liv Erickson, Hubs Lead i Mozilla Hubs*, er det ikke anbefalt med flere enn 50,000 polygoner når scenen skal kunne vises på mobile enheter (*Erickson, 2020*).

Det er flere tilnærminger til disse grenseverdiene, og krav til modellene vil variere ut fra dette. I en scene med få modeller kan modellene ha høyere filstørrelse og teksturopløsning, enn en scene som har mange 3D-modeller.

2.1.3 Reality Capture

RealityCapture ble utgitt i 2016 av det slovakiske firmaet *Capturing Reality* (*Thacker, 2016*). Senere ble programvaren kjøpt opp av det amerikanske firmaet *Epic Games*, og er nå tilgjengelig på deres plattform (*Epic Games, 2021*).

RealityCapture er en programvare for fotogrammetri, som brukes til å lage 3D-modeller basert på bilder eller skanning med laser. Dette gir brukeren mange varierte muligheter når det kommer til valg av opptaksutstyr. Om man skal bruke fotogrammetri i krevende terreng, kan drone være et alternativ. Ved enkle testmodeller kan kameraet på en mobiltelefon, være en enkel løsning.

Målet til *RealityCapture* er å lage en bedre, enklere og raskere måte å bruke fotogrammetri på (*About-Us - CapturingReality.com, 2022*). Dette har de løst ved at programvaren gjør mye av arbeidet automatisk. Programvaren finner referansepunkter i bildene og bruker disse til å lage en 3D-punktsky. En punktsky er et sett av punkter i et koordinatsystem, som inneholder fargeverdier. Deretter blir disse punktene brukt til å lage en 3D-modell (*Hellman and Lahti, 2018*). Hvis programvaren ikke finner nok referansepunkter til å lage en fullstendig modell, kan de legges til manuelt.

Videre kan det genereres en tekstur til modellen, som lages ut fra bildene. Disse stegene kan være ressurskrevende for datamaskinen, og kan ta lang tid å utføre. Tiden det tar å lage modellen, vil øke jo flere bilder man bruker (*CR, 2019*). Når man gjør endringer på modellen, blir hvert steg lagret slik at man lett kan gå tilbake til en tidligere versjon.

Modellen som blir generert har et høyt antall polygoner. Dette skjer fordi *RealityCapture* lager en så detaljert modell som mulig, med høyest mulig kvalitet, og dette krever mange polygoner. En slik modell vil være svært ressurskrevende å behandle videre i 3D-modelleringsprogrammer. Man kan risikere at programmet krasjer og at man mister arbeidet. For å hindre dette er det anbefalt å forenkle modellen, ved å redusere antall polygoner i *RealityCapture*, før filen eksporteres videre.

2.1.4 Tidligere arbeid med RealityCapture

RealityCapture er mye brukt innen kulturhistorisk arbeid, der det er et ønske om å bevare viktige historiske artefakter og monumenter (*Cultural Heritage - CapturingReality.com, 2022*). Et

eksempel på dette er et samarbeid mellom *Google* og *CyArk*, der har de brukt *RealityCapture* til å lage realistiske 3D-modeller av mange forskjellige kulturminner fra UNESCOs verdensarvliste (*World heritage - CapturingReality.com*).

Et annet prosjekt der *RealityCapture* har vært brukt er “Amundsens hjem”, som er en gratis VR opplevelse laget av *Glitch Studios*, i samarbeid med museene i Akershus. I det prosjektet ble det brukt fotogrammetri, hvor huset ble skannet innvendig og utvendig, inkludert interiøret. I denne opplevelsen er det mulig å gå gjennom huset, og få informasjon om Amundsen og noen av eiendelene hans (*mia.no*). Opplevelsen kan lastes ned på programvare plattformen Steam og er tilgjengelig både på norsk og engelskspråklig versjon (*Steam*, 2020).

2.2 Initiell løsningsidé

I dette prosjektet skal *RealityCapture* brukes til å lage 3D-modeller av forskjellige objekter, med kulturhistorisk karakter. Objektene som velges skal kunne knyttes til museumssektoren, da dette er et område *Spello* jobber mye innenfor. Deretter skal modellene fra *RealityCapture* optimaliseres ved hjelp av ulike teknikker, for å brukes i *Mozilla Hubs* med *WebXR*.

Generelt i en grafisk scene i *Mozilla Hubs*, er det ønskelig at modellene har minst mulig filstørrelse. *Spello* har tidligere operert med 3D-modeller som har en teksturopløsning på 2K, og filstørrelse på rundt 1.5 MB.

I praksis vil det variere hva minstekravet til en modell er, fordi det er størrelsen på den totale mengden elementer i scenen, som setter grensen. For *Mozilla Hubs* er den grensen på 128 MB (*Hubs by Mozilla*). Derfor vil alle modellene i dette prosjektet ha minst mulig størrelse, uten at det skal gå utover utseende til modellene. Dette blir gjort, for å gi flest muligheter når scenen i *Mozilla Hubs* skal settes opp.

For å se om kvaliteten på modellene er beholdt etter optimaliseringen, vil ferdige modeller sammenlignes med de originale modellene fra *RealityCapture*. En visuell overflateanalyse vil kunne avdekke forskjeller i farge og form, spesielt i områder hvor det er mye detaljer. Dette er en relativt subjektiv metode, men i mangel på en objektiv metode for å måle kvaliteten på 3D-modeller, har man sett seg nødt til å gjøre det på denne måten.

2.3 Avgrensninger

Prosjektet avgrenser seg til 3D-modeller laget fra bilder tatt med speilreflekskamera. Det innebærer at andre former for fotografi som dronefoto og mobilkamera, ikke blir vurdert. Skanning med laser eller IR-skanning, vil heller ikke være en del av dette prosjektet. *Spello* ønsker at speilreflekskamera blir brukt, da de primært bruker denne type kamera i sin prosjekter.

Valgte avgrensninger fører til at større objekter som bygninger og innsiden av rom, ikke blir valgt som modellobjekt. Dette fordi det ville vært et svært omfattende arbeid og ført til et mindre modellutvalg, og dermed færre sammenligningsgrunnlag. Man ville også vært avhengig av dronefoto for å få en fullstendig modell av en bygning.

3D-modellene som blir laget underveis skal gjøres best mulig for *Mozilla Hubs* med *WebXR*. Det vil si at det ikke blir sett på mulighetene rundt tradisjonell VR oppsett, som blir lastet ned på forhånd og har muligheten til å ha mer kompliserte 3D-modeller. Det vil heller ikke bli fokusert på elementer som interiøret i scenen, som er med på å bygge opp museumsmiljøet rundt der gjenstandene skal presenteres.

2.4 Valg av verktøy

Kamera:

Nikon D60 ble valgt som kamera for alle modellene, dette kameraet ble valgt da dette allerede var eid av bachelorgruppen.

RealityCapture:

RealityCapture ble valgt som fotogrammetriprogram, da dette ble etterspurt av oppdragsgiver.

3D-modelleringsprogram:

Blender blir valgt som 3D-modelleringsverktøy da dette er et svært fleksibelt og allsidig program for dette bruksområdet.

Bilredigeringsprogram:

Adobe Lightroom ble valgt som bilredigeringsprogram, da dette er et velkjent og mye brukt programvare for bilredigering.

3 PROSJEKTMETODIKK

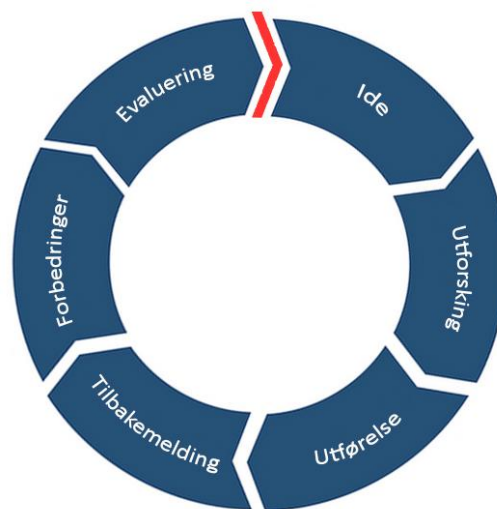
3.1 Valg av metoder for arbeidet

Før arbeidet ble startet, ble det diskutert alternative metodikker som ville kunne passe for de problemstillinger det skulle arbeides med.

I mange prosjekter følger man gjerne godt definerte stadier i prosessen, hvor man på forhånd vil kunne være kjent med krav og rammer for arbeidet. Under slike forutsetninger benyttes ofte en metodikk som kalles "Fossefallsmetoden" hvor man definerer de forskjellige stadiene, som gjøres ferdig trinnvis (derav navnet fossefallsmetoden)- og hvor man ikke vil gå tilbake til tidligere stadier i arbeidet når dette er avsluttet.

Denne metoden ble vurdert som lite egnet i vårt prosjekt, da vårt prosjekt i stor grad er av en utforskende art, hvor lærdom og erfaring skal tilegnes gjennom selve prosjektet. Av den grunn vil det gjennom forskjellige stadier være behov for å gjennomføre evalueringer og kanskje se på problemstillinger på nytt basert på resultater, diskusjoner og justering av forventninger og krav.

Dette ligner mer på en arbeidsprosess som kalles for "Agil", eller "smidig" på norsk. Vi har laget en modell som illustrerer prosessen:



Figur 5: Det ble valgt en Agile tilnærming i dette prosjektet
(illustrasjon: egen, 2022)

Det er derfor brukt prinsipper fra det Agile manifestet (*Det smidige manifestet.*). Det Agile Manifestet er et sett med verdier som ble til etter et møte mellom utviklere, som ikke var fornøyd med hvor tungvint prosessen med programutvikling var. De mener at planlegging er viktig, men at det er også nødvendig å akseptere at kravene endrer seg og må tilpasses etter hvordan prosjektet forløper seg (*Det smidige manifestet.*).

Prosjektarbeidet har også vært av en iterativ karakter, hvor vi det eksempelvis gjennom møter med oppdragsgiver har kommet nye forventninger og krav til prosjektet, og gjerne med ønske om å skifte fokus. I starten av prosjektet var det lite som var definert, og rammene man skulle jobbe etter var uklare. Senere har oppdragsgiver vært mer tydelig på retning, og det har derfor vært et viktig fokus i arbeidet i prosjektet om at resultatene skal ha en nytteverdi for oppdragsgiver.

Arbeidsmetodikken i prosjektet har vært utfordrende, men samtidig spennende og interessant fordi alle involverte parter har hatt stor frihet rundt valg av de forskjellige tilnærminger og retninger prosjektet skulle få. Noen av ulempene med dette er som nevnt at man gjennom en slik metodikk vil ha vanskeligheter med å utarbeide fremdriftsplaner man kan forholde seg til, samt at det kan bli utfordrende å være trygg på at man styrer prosjektet mot et punkt hvor man kan sette sluttstrek gjennom oppsummeringer og konklusjoner av de tester og resultater man har jobbet med.

3.2 Datainnsamlingen

For å lære nærmere og kjenne bruksområdene og mulighetene til *RealityCapture*, ble det valgt å fokusere på disse hovedpunktene:

3.2.1 Reduksjon av antall polygoner gjennom etterbehandling

Modellene som blir laget i *RealityCapture* har mange polygoner, og for å kunne bruke modellene videre, må antall polygoner reduseres. Reduksjon av antall polygoner vil påvirke modellenes tekstur og form, og man må derfor vurdere om slik reduksjon vil kunne være akseptabel på modellen. Dette arbeidet vil bli gjort i et 3D-modelleringsprogram, hvor man ser nærmere på hvordan modellene reagerer på at antall polygoner blir drastisk redusert.

Å kunne forstå hvordan ulike modeller takler slik reduksjon vil være ett av de områdene som skal utforskes. Derfor skal de velges modeller med forskjellige overflater og fasonger.

3.2.2 Hvordan ulike lysforhold påvirker modellering i *RealityCapture*

Et annet punkt som står sentralt, er hvordan forskjellige lysforhold påvirker modelleringen i *RealityCapture*. Det mest optimale lysforhold er når modellene er jevnt opplyst. Under dårlige lysforhold kan det falle skygger fra objektet, noe som da vil komme med på den ferdige 3D-modellen.

Dette er noe man ønsker å unngå, da det er viktig at modellene kun skal få skygge fra lys i scenen (Yao-An Lee, 2017, p. 21). Det er ønskelig å se nærmere på hvordan/hvor man best oppnår et optimalt resultat, og vi vil derfor etablere forskjellige scenarier. De scenarioene som skal undersøkes er i fotostudio (med "perfekt" indirekte belysning), utendørs og hjemme/inne.

3.2.3 utfordringer med reflekterende overflater

Lysforhold vil også ha stor innvirkning på objekter som har reflekterende overflate. Det er et kjent problem at *RealityCapture* har vanskeligheter med å lage gode modeller fra slike objekter. Dette fordi programmet tolker gjenskinn som bevegelse i objektet, og forkaster bilder som resultat (*Hellman and Lahti, 2018*). Derfor skal det undersøkes om *RealityCapture* likevel klarer å modellere objekter med en reflekterende overflate, men ved hjelp av ulike teknikker.

3.3 Mulige feilkilder for datainnsamlingen

En mulig feilkilde kan være at datamengden er for liten til å kunne stille entydige konklusjoner. Grunnet prosjektets varighet vil det kun være mulig å teste en begrenset mengde objekter. Dette kan ha innvirkninger på sluttkonklusjonen.

3.4 Risikovurdering

Det totale risikonivået for dette prosjektet er lav. Hovedårsaken til dette, er at *Spello* er interessert i både gode og dårlige erfaringer med *RealityCapture*. Oppdragsgiver har ingen pågående prosjekter som er avhengig av konklusjonen, men ønsker selv å ta i bruk teknologien i fremtiden.

En risikofaktor for prosjektet kan være at ingen av medlemmene har tidligere erfaringer med *RealityCapture*, selv om denne interne risikoen anses som liten. Det kan også oppstå misforståelser mellom oppdragsgiver og prosjektdeltakerne, men denne bør være minimal grunnet prosjektets åpne art.

Et tiltak som er blitt tatt for å minimere den interne risikoen, er kurs knyttet til bruk av relevant programvare. Dette for å sikre at gruppen innehar nok kunnskap til å kunne gjennomføre prosjektet. Det vil også bli gjennomført jevnlig møter med oppdragsgiver for å sikre god kommunikasjon. Gjennom disse møtene vil det også bli delt verdifull kunnskap fra tidligere prosjekter. Dette vil også bidra til å minimere risikoen i dette prosjektet.

Summen av tiltakene gjør at den totale risikoen i dette prosjektet anses som lav.

4 FREMGANGSMÅTE

I kapittel 4 vil fremgangsmåten for ulike utfordrende områder bli presentert. Det vil bli forklart hvordan man best kan skape det ideelle miljøet for fotograferingen, samt presentere en løsning for hvordan håndtere reflekterende objekter.

Det vil også bli gjennomgått hvilken metode som benyttes for å fotografere objektene. Videre blir det også sett nærmere på problemene med for mange polygoner, og mulige løsninger for dette. Til slutt presenteres det en teknikk for å få den beste oppløsningen på teksturavbildningen.

4.1 Lysforhold

Alle objektene i dette prosjektet er blitt fotografert med samme metode. Metoden innebærer at man fotograferer objektet fra alle sider, inkludert oversiden og undersiden, hvor man flytter fokus maksimalt 10-15 grader for hvert bilde (*Hanson, 2020, 12:00*). På denne måten vil man fylle alle deler av et objekt man skal modellere i 3D-format.

En slik metodikk vil medføre at alle områder av figuren er dekket av minst to bilder, slik at *RealityCapture* klare å se sammenhengen i bildene (*Yao-An Lee, 2017, p. 32*). Alle bildene vil bli behandlet i fotobehandlingsprogrammet *Adobe Lightroom* for optimalisering, før man starter produksjon av 3D-modell i *RealityCapture*.



Figur 6: Det må tas bilder fra alle vinkler for å kunne bygge en god 3D modell
(figur: egen, 2022)

Som tidligere nevnt, er lysforhold et krevende område når det kommer til fotogrammetri. Det er nødvendig å skape et miljø der objektet blir jevnt opplyst. I et fotostudio har man muligheten til å bestemme lyset rundt objektet.

Her kan man bruke både direkte og indirekte lyssetting for å oppnå den effekt man er på utkikk etter. Dersom man eksempelvis ønsker å unngå skygger, kan man belyse objektet fra flere sider samtidig, og derigjennom eliminere problemet med skygger.

Ved fotografering inne/hjemme vil man gjerne ikke kunne ha samme kontroll, og det blir vanskeligere å oppnå en optimal lyssetting. Dersom man har objekter nær eller ved vinduer, er det foretrukket å ha diffust lys fra overskyet himmel.

Ved utendørsfotografering vil overskyet vær også bli foretrukket, da dette reduserer risiko for både skygger og refleksjoner fra objektene. Siden lysforhold er noe som kan endre seg raskt, vil det kunne være vanskelig å planlegge slik fotografering hvis man vil fange de mest optimale mulighetene.

For å komme rundt problemstillingen med gjenskinn i objektet, er det noen teknikker man kan utforske. En av disse teknikkene er å dekke objektet med et belegg som gjør overflaten matt. Med en matt overflate vil det ikke komme noe gjenskinn fra objektet, og det fører til at *RealityCapture* klarer å lage en 3D-modell. Den beste måten å dekke objektet på, er med en spray som er spesiallaget for denne type situasjon. Sprayen som er blitt valgt i dette prosjektet er *AESUB Orange 3D Scan spray 400ml*. Sprayen dekker objektet i et hvitt belegg, som forsvinner av seg selv, etter 24 timer (*stratum3d.no*).

På grunn av det hvite belegget, vil ikke originaltekstur komme med på modellen, men dette løses ved å legge til et lignende materiale i etterbehandlingen. Denne prosessen kan være krevende og resultatet vil variere.

4.2 Polygoner

Det er anbefalt å redusere antall polygoner til modellene fra *RealityCapture*, da disse modellene kan inneholde mange millioner polygoner, før de eksporteres til 3D-modelleringsprogrammer som *Blender*. Hvis ikke dette blir gjort, vil alle handlinger i programmet kunne ta svært langt tid, da det er svært ressurskrevende å jobbe med så stort polygonantall som modellene fra *RealityCapture* har.

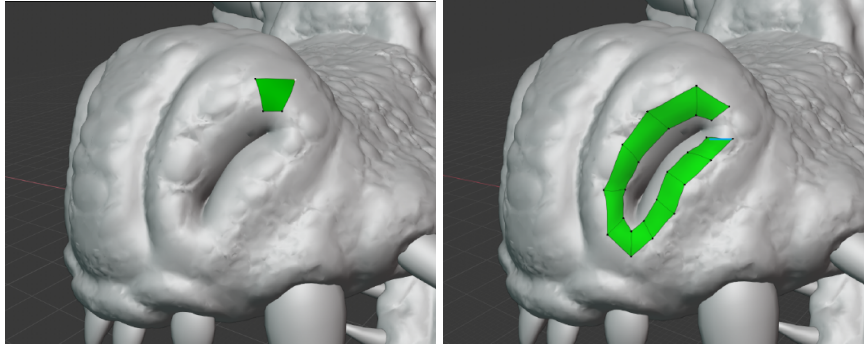
Man kan også risikere at programmet krasjer og arbeidet går tapt. Tidlige tester viste at et polygonantall rundt 500 000, var en ideell størrelse til å jobbe videre med. Denne størrelsen gjør at det er tilstrekkelig antall polygoner til å gjengi større objekter, uten at man risikerer å miste detaljer.

Videre reduksjon i antall polygoner vil bli gjort i *Blender*, med en teknikk kalt retopologi. Ved hjelp av denne teknikken kan polygonantallet reduseres ytterligere, uten å miste formen til modellen. Dette er mulig fordi en del av prosessen er å forenkle polygongettet. Retopologi kan utføres manuelt, eller med automatiske verktøy. I de kommende delene vil det diskuteres om det er best å bruke manuell retopologi, eller automatisk retopologi i dette prosjektet.

4.2.1 Manuell retopologi

Manuell retopologi gjøres ved å manuelt bygge opp en ny topologi over den originale 3D-modellen. Denne metoden gir brukeren muligheten til å skreddersy topologien for den aktuelle modellen. Store, jevne, områder trenger mindre polygoner, mens områder med mye detaljer trenger flere polygoner for å bli nøyaktige. På denne måten er det mulig å komme ned i et lavt polygonantall.

Denne prosessen er tidkrevende, men gir et bra resultat da man kan bestemme topologien selv på ulike deler av modellen. Det er spesielt viktig hvis objektet skal animeres, da det trengs nok polygoner rundt de bevegelige delene, for at bevegelsene skal virke naturlig. Det kreves også en del erfaring med modellering, for å oppnå et godt resultat.



Figur 7 og 8: Viser prosessen med å legge til polygoner manuelt
(Baechler and Greer, 2020, p. 470-474)

4.2.2 Automatisk retopologi

Med automatisk retopologi får modellen en ny topologi ved hjelp av eksterne eller innebygde verktøy i modelleringsprogrammet. Det finnes både gratis og betalte alternativer for automatisk retopologi, og mange av verktøyene i dag produserer gode alternativer til manuell retopologi.

I noen av verktøyene får man tilgang til ulike innstillinger som bestemmer hvordan den automatiske retopologien skal utføres. Dette gir mange muligheter til å finne en metode som gir et godt resultat for den aktuelle modellen. En innstilling kan være at brukeren oppgir en øvre grense for antall polygoner. Dette er svært nyttig hvis prosjektet man jobber med har en øvre grense for modellene. Andre verktøy baserer seg på at det oppgis hvor stor man vil at arealet til polygonene skal være, og deretter vil verktøyet selv finne ut hvor mange polygoner det trengs for å dekke hele modellen.

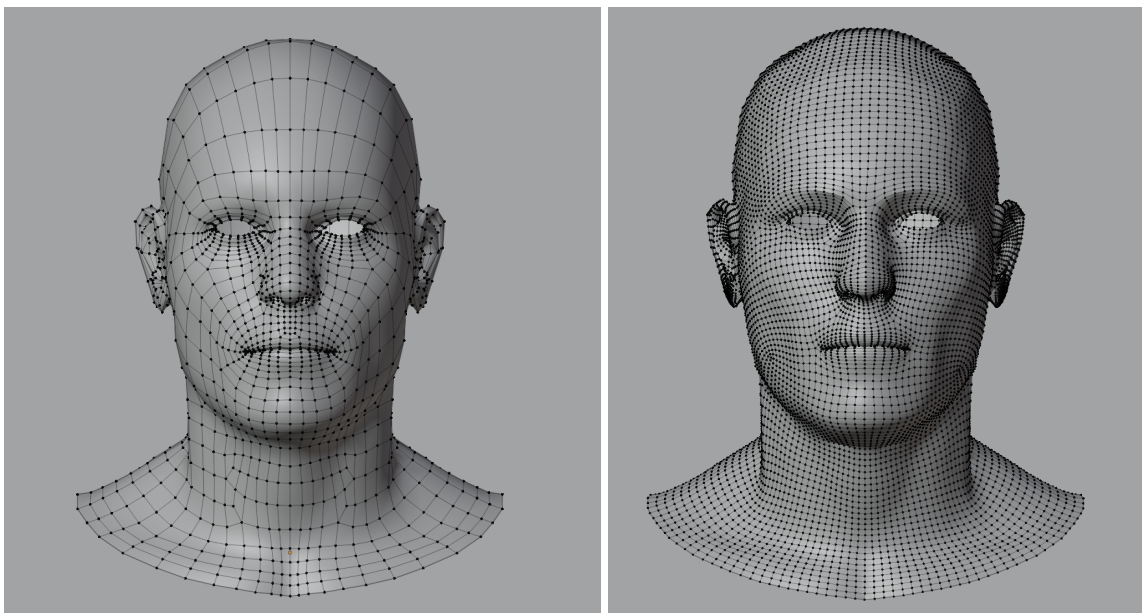
4.2.3 Diskusjon av alternativene og valgt løsning

Det er både fordeler og ulemper med begge alternativene som er presentert. Manuell retopologi vil teoretisk sett være den beste løsningen, fordi man tilpasser topologien for hver enkel modell, for å få den beste ytelsen og kvaliteten. Den største ulempen med manuell retopologi, er at det kreves en god del kompetanse for å utføre med godt resultat. Det vil også være et svært tidkrevende arbeid, da man gjør alt for hånd. Man kan regne med å bruke alt fra 10 minutter, til mange timer, avhengig av verktøyet og topologien som må gjenskapes (Ali).

Automatisk retopologi vil være enklere å bruke, da retopologien utføres av algoritmen til verktøyet som en har valgt å bruke. Det tar også mye kortere tid enn med manuell retopologi. En kan potensielt produsere en ny topologi på noen få minutter, i forhold til timesvis med manuelt

arbeid. Ulempen med automatisk retopologi er at resultatet ikke alltid er optimalt. Ofte vil automatisk retopologi bare fordele antall tilgjengelige polygoner jevnt over hele flaten, og i andre tilfeller er det polygonstørrelsen det kommer an på.

Når man analyserer fordeler og ulemper mellom disse metodene, er det noen argumenter som er viktigere enn andre for dette prosjektet. Det som veier tyngst, er tiden det tar å fullføre retopologien. I dette prosjektet skal det testes ut på flere forskjellige modeller, og man er avhengig at det går relativt raskt å utføre. Et annet viktig argument er den manglende kunnskapen rundt manuell retopologi. Selv om man manuelt bruker lang tid på de enkelte modellene, er ikke dette i seg selv en garanti for et bra sluttresultat, da dette er krevende prosesser å få til manuelt. Det er også ønskelig å kunne reproducere resultatet, og dette er kun mulig å gjøre på en enkel måte med automatisk retopologi. Derfor faller valget for metode på automatisk retopologi.



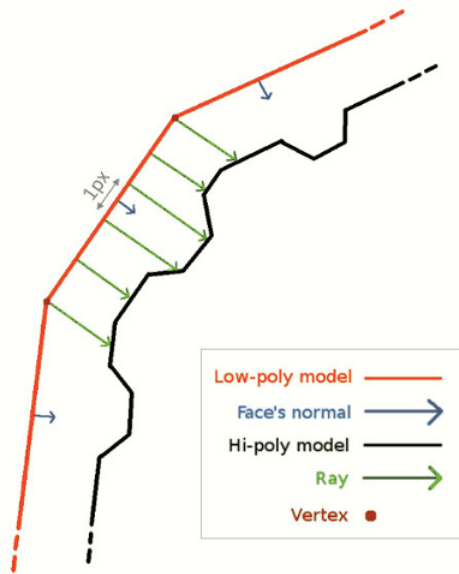
Figur 9: Her vises forskjellen mellom automatisk (venstre) og manuell retopologi (høyre). Modellen til venstre har polygoner som er mer tilpasset formen, mens modellen til høyre har samme polygonform over hele modellen (Antipov, 2017)

4.3 Tekstur

For å beholde den høye oppløsningen på teksturen etter at en modell har fått utført retopologi, er det vanlig å teksturbake modellen. Denne teknikken legger teksturavbildningen fra en kopi av modellen med et høyt antall polygoner, over på den forminskede modellen.

For å utføre dette plasseres modellene direkte over hverandre, og den forminskede modellen vil sende ut stråler, for å kartlegge hvor teksturen skal ligge. I denne prosessen genereres det en ny teksturavbildning, som legges over på den forminskede modellen (Selin, 2020).

Det kan i tillegg velges hvor høy oppløsning på teksturavspeilingen en ønsker. Resultatet av denne prosessen er at selv om modellen har fått redusert polygonnett, vil den likevel ha et detaljnivå på lik linje med den originale, men med noe redusert kvalitet.



Figur 10: Illustrerer hvordan den forminskede modellen sender ut stråler for å kartlegge hvor teksturen skal ligge (Total Baker - User Manual)

5 VALG AV MODELLER

Det ble valgt å holde alle modellene innenfor kulturhistorisk sammenheng. Oppdragsgiver er interessert i dette området fordi de jobber mye innenfor museumssektoren og de har i skrivende stund et pågående prosjekt som handler om bevaring av gamle bibler.

For å få et grundig bilde av bruksmulighetene til *RealityCapture*, ble det i datainnsamlingen definert to hovedpunkter som skulle utforskes.

Det første punktet var å se på hvordan modellene ville reagere på at antall polygoner ble betydelig redusert i etterbehandlingen som gjøres i *Blender*. Av den grunn er det blitt forsøkt å skape variasjon i overflaten til objektene. Dette vil si at det er valgt objekter som med ulikt detaljnivå på overflaten. Detaljnivået er ulikt fordi de er detaljerte på forskjellige måter. Noen objekter har et detaljert mønster på overflaten, mens andre objekter har en form som er detaljert. Materialet til overflater vil også være ulikt. Størrelsen til objektene kan også ha en innvirkning i reduksjonsprosessen.

Det andre punktet var å utforske hvordan forskjellige lysforhold påvirker modelleringen i *RealityCapture*. Derfor vil modellene fotograferes i forskjellige lokasjoner, med forskjellige lysforhold.

Til dette prosjektet ble det valgt 6 objekter det skal lages 3D-modeller av. Gjennom variasjonen i disse objektene, vil det kunne dannes et grundig bilde av bruksmulighetene til *RealityCapture*.

Modell nr. 1, utendørsmodell: Søyle fra Lyse Kloster

Det første objektet som ble valgt, var en søyle fra Lyse Kloster fra 1100-tallet (Bratberg, 2020). Søylene ble valgt fordi den har en overflate som kan kreve høyt antall polygoner, for å bli gjengitt korrekt. Overflaten har skader i form av hakk og har en ruglete overflate. Søylene står også ute og er ikke mulig å flytte. Dette krever mer planlegging med tanke på vær og lysforhold.



Figur 11: Søyle fra Lysekloster

Modell nr. 2, utendørsmodell: Statue

Denne statuen ble valgt fordi den har en form som består av mange myke linjer, som kan være krevende å gjenskape med et lavt antall polygoner. Objektet er et gjennomgående motiv og finnes i mange variasjoner gjennom ulike tidsepoker.



Figur 12: Statue

Modell nr. 3, hjemmemodell: Salmebok

Objekt nr.3 er en salmebok utgitt 1868. Dette objektet er veldig relevant siden Spello har et pågående prosjekt med 3D-modellering av bibler. Det er ønskelig å se hvordan teksten kommer frem på modellen, når bildene blir tatt under krevende lysforhold i hjemmestudio. Den mørke fargen på objektet kan gjøre dette utfordrende. Formen på bibelen er noe deformert og dette kan påvirke resultatene.



Figur 13: Salmebok

Modell nr. 4, hjemmemodell: Treutskjæring

Dette objektet er en treutskjæring av en elefant. Trematerialet og det intrikate mønsteret er hovedgrunnen til at dette objektet er valgt til å bli modellert. Mønsteret på modellen gjør at det er mange små ujevnheter, noe som kan kreve et stort antall polygoner å gjenskape.



Figur 14: Treutskjæring

Modell nr. 5, fotostudiomodell: Inkastatue

Inkastatuen ble valgt fordi overflaten til figuren er detaljert. Størrelsen til figuren kan potensielt ha en positiv innvirkning på filstørrelsen, til den ferdige 3D-modellen. Den lille størrelsen gjør den også til et ideelt objekt å frakte til fotostudioet. Figuren er en kopi av en Inkastatue fra Tiwanaku området i Bolivia



Figur 15: Inkastatue

Modell nr. 6, fotostudiomodell: Lysholder av tinn

Denne antikke lysholderen er av herdet tinn. Metall skaper gjenskinnsom vil kunne skape problemer for *RealityCapture*. Dette vil bli løst med en spesialspray, som dekker lysholderen i et matt, hvitt belegg. Denne behandlingen gjør at den originale teksturen vil forsvinne, men et lignende materiale kan legges på i etterbehandlingen.



Figur 16: Lysholder av tinn

6 RESULTATER

6.1 Evalueringsmetode

Formålet med dette prosjektet er å se på hvordan det vil fungere å bruke modeller laget med *RealityCapture*, i *Mozilla Hubs* med *WebXR*.

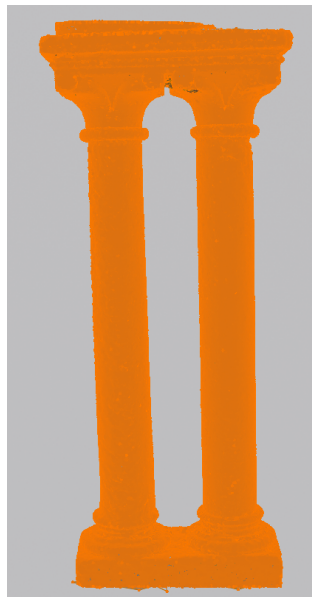
En grafisk scene i *Mozilla Hubs* kan maksimalt ha 128 MB total størrelse (*Hubs by Mozilla*). Derfor er det ønskelig at filstørrelsene til modellen er små. *Spello* har operert med størrelse på rundt 1.5 MB og teksturopløsning på 2K, og dette vil bli brukt som et sammenligningsgrunnlag.

For å konkludere om det er tap av kvalitet på de optimaliserte modellene vil det utføres en visuell overflateanalyse, der de sammenlignes med de originale modellene fra *RealityCapture*. I analysen ser man om det er noen tydelige visuelle forskjeller mellom modellene. Disse forskjellene kan være fargeforskjeller eller avvik i form.

6.2 Evalueringsresultat

6.2.1 Modell nr. 1, utendørsmodell: Søyle

Modell nr.1 er en søyle fra Lyse Kloster. Med dette objektet var det ønskelig å se hvordan *RealityCapture* klarte å gjenskape den ruglete og detaljerte overflaten.



Figur 17: Bildet viser den eksporterte figuren (venstre), og figurens 500 008 polygoner (høyre)



Figur 18: Bildet viser behandlet figur (venstre), og figurens 30 654 polygoner (høyre)

Spesifikasjoner fra RealityCapture:

Spesifikasjoner fra bearbeidet 3D-modell:

Filstørrelse: 524 MB
Polygoner: 19 894 435
Tekstur størrelse: 8K

Filstørrelse: 5.2 MB
Polygoner: 30 654
Tekstur størrelse: 4K

Resultat

RealityCapture brukte 232 av 272 bilder og modellen ble laget uten videre bearbeiding i programmet. Modellen består av 19.9 millioner polygoner, 8K teksturopløsning og var på 524 MB. Den eksporterte modellen hadde en filstørrelse på 28.1 MB, besto av 500 008 polygoner, og hadde en 8K teksturopløsning.

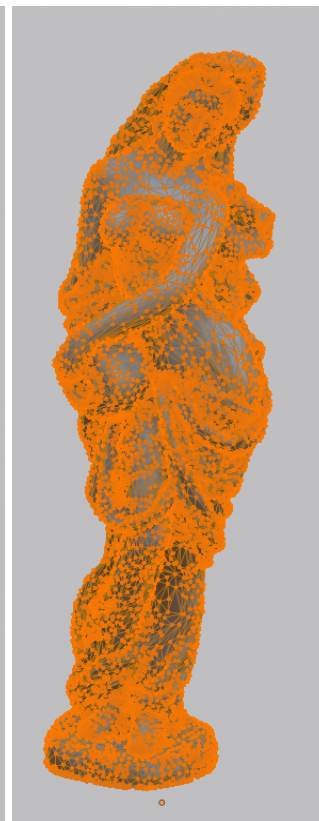
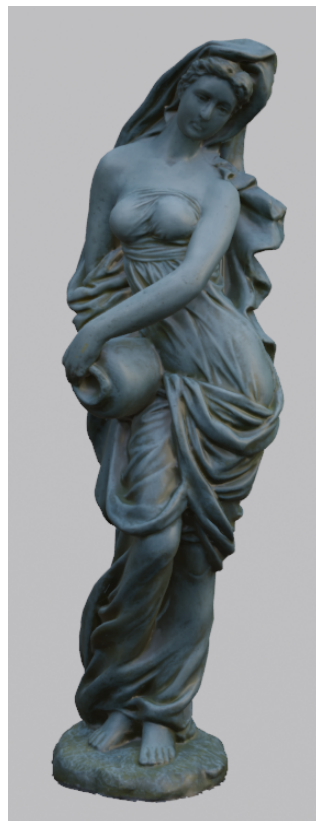
Den ferdige modellen hadde en 4K teksturopløsning, bestod av 30 654 polygoner, og hadde en filstørrelse på 5.2 MB. Dette er 246.67 % høyere enn hva *Spello* har som gjennomsnittsstørrelse på sine modeller. Grunnen for den store filstørrelsen er at det er brukt en større teksturopløsning på denne modellen, enn hva som var ønskelig. Dette var nødvendig på grunn av den ruglete overflaten til søylen. Tester med teksturopløsning på 2K, resulterte i et uønsket resultat som fremsto utvasket. Derfor var den laveste teksturopløsningen som overholdt kravet fra evalueringsmetoden en teksturopløsning på 4K.

6.2.2 Modell nr. 2, utendørsmodell: Statue

Modell nr.2 er en statue med stort overflateareal. Det var med dette objektet ønskelig å se om det var mulig å gjenskape alle de myke linjene, ved å bruke et lavt antall polygoner.



Figur 19: Bildet viser den eksporterte figuren (venstre), og figurens 500 043 polygoner (høyre)



Figur 20: Bildet viser behandlet figur (venstre), og figurens 32 961 polygoner (høyre)

Spesifikasjoner fra RealityCapture:

Filstørrelse: 376 MB

Polygoner: 15 010 296

Tekstur størrelse: 8K

Spesifikasjoner fra bearbejdet 3D-modell:

Filstørrelse: 3.45 MB

Polygoner: 32 961

Tekstur størrelse: 4K

Resultat

RealityCapture brukte 316 av 317 bilder og modellen ble laget uten videre bearbejding i programmet. Modellen består av 15 millioner polygoner, 8K teksturopløsning og var på 376 MB. Den eksporterte 3D-modellen består av 500 043 polygoner og hadde en teksturopløsning på 8K. Den ferdige modellen hadde 32 961 polygoner, 4K teksturopløsning og var på 3.45MB. Dette er 130% høyere enn hva Spello har som gjennomsnittsstørrelse på sine 3D-modeller.

Her er det som tidligere modell, blitt brukt en høyere teksturopløsning enn anbefalt. Den valgte teksturopløsningen på 4K hadde mindre forskjeller i tekturen. 4K teksturopløsning var den

laveste som oppfylte kravene for et godkjent resultat i forhold til evalueringsmetoden. Modellen klarte å beholde formen med et relativt lavt polygon antall.

Modellen ble fotografert i optimalt lysforhold og siden den ikke står fast, kunne den flyttes vekk fra andre gjenstander og få fritt lys.

6.2.3 Modell nr. 3, hjemmemodell: Salmebok

Modell nr.3 er en salmebok, trykket i 1868. Med dette objektet var det ønskelig å se på hvordan lysforholdene i hjemmestudio påvirket modellen. Objektet har en mørk tekstur som potensielt kan bli en utfordring.



Figur 21: Bildet viser den eksporterte figuren (venstre), og figurens 10 153 916 polygoner (høyre)

Figur 22: Bildet viser behandlet figur (venstre), og figurens 9 518 polygoner (høyre)

Spesifikasjoner fra RealityCapture:

Filstørrelse: 248 MB

Polygoner: 10 153 916

Tekstur størrelse: 8K

Spesifikasjoner fra bearbeidet 3D-modell:

Filstørrelse: 0.935 MB

Polygoner: 9 518

Tekstur størrelse: 2K

Resultat

RealityCapture brukte 728 av 728 bilder og modellen ble laget uten videre bearbeiding i programmet. Modellen hadde en teksturopløsning på 8K og besto av 10 millioner polygoner. Den eksporterte 3D-modellen består av 500 030 polygoner og hadde en teksturopløsning på 8K. Den ferdige modellen var på 0.935 MB, hadde 9 518 polygoner og bruker en teksturopløsning på 2K. Filstørrelsen er 37.7% lavere enn hva *Spello* har som gjennomsnitt på lignende modeller. Det er ingen synlige forskjeller mellom den originale og bearbejdede 3D-modellen når man har en teksturopløsning på 2K. Grunnet dårlige lysforhold i hjemmestudio, ble derimot modellens tekstur mørkere enn salmeboken er i virkeligheten.

6.2.4 Modell nr. 4, hjemmemodell: Treutskjæring

Modell nr.4 er en treutskjæring av en elefant. Dette objektet ble valgt for det kompliserte uthevede mønsteret på objektet sin framside. Her er det ønskelig å se hvordan dette mønsteret blir representert på den bearbeide modellen, da dette vil trenge flere polygoner enn hva det er ønskelig å ha på 3D-modeller i *Mozilla Hubs*.



Figur 23: Bildet viser den eksporterte figuren (venstre), og figurens 500 024 polygoner (høyre)

Figur 24: Bildet viser behandlet figur (venstre), og figurens 32 518 polygoner (høyre)

Spesifikasjoner fra RealityCapture:

Filstørrelse: 141 MB

Polygoner: 5 427 266

Tekstur størrelse: 8K

Spesifikasjoner fra bearbeidet 3D-modell:

Filstørrelse: 1.25 MB

Polygoner: 32 518

Tekstur størrelse: 2K

Resultat

RealityCapture brukte 372 av 381 bilder og det måtte brukes referansepunkter for å sette bildene sammen til en punktsky. Modellen hadde en teksturopløsning på 8K og bestod av 5.4 millioner polygoner. Det ble eksportert en 3D-modell med 8K teksturopløsning og 500 024 polygoner for videre arbeid.

Den ferdige modellen var på 1.25 MB, hadde 32 518 polygoner og bruker en teksturopløsning på 2K. Dette er 16.7% lavere enn hva *Spello* har som gjennomsnittsstørrelse på sine 3D-modeller. Som forventet var det en utfordring med objektets uthevede mønster. Det ble valgt å bruke 32 518 polygoner, da dette ga et akseptabelt resultat og var innenfor filstørrelsen på 1.5 MB. Forskjellene mellom den optimaliserte og den originale modellen er bare synlig når modellene studeres på veldig nært hold og er derfor godkjent i forhold til evalueringsmetoden.

6.2.5 Modell nr. 5, fotostudiomodell: Inkastatue

Modell nr.5 er laget av en Inkastatue fra Tiwanaku området i Bolivia. Dette objektet ble valgt for å se på hvordan *RealityCapture* gjenga et detaljert mønster på et relativt mørkt objekt.



Figur 25: Bildet viser den eksporterte figuren (venstre), og figurens 499 922 polygoner (høyre)

Figur 26: Bildet viser behandlet figur (venstre), og figurens 3 736 polygoner (høyre)

Spesifikasjoner fra RealityCapture:

Filstørrelse: 87.3 MB
Polygoner: 3 532 682
Tekstur størrelse: 4K

Spesifikasjoner fra bearbeidet 3D-modell:

Filstørrelse: 0.721 MB
Polygoner: 3 736
Tekstur størrelse: 2K

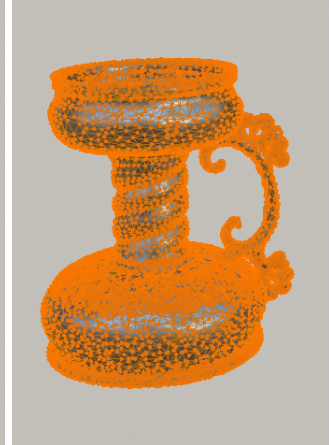
Resultat

RealityCapture brukte 338 av 388 bilder og modellen ble laget uten videre bearbeid i programmet. Modellen består av 3.5 millioner polygoner, 4K teksturopløsning og var på 87.3 MB. Det ble eksportert en 3D-modell med 499 922 polygoner og en teksturopløsning på 4K.

Den ferdige modellen hadde 3 736 polygoner, teksturopløsning på 2K og var på 0.721 MB. Dette er 52% lavere enn hva *Spello* har som gjennomsnittstørrelse på sine 3D-modeller. Den bearbejdede 3D-modellen har ingen synlige forskjeller fra den originale modellen når man har en teksturopløsning på 2K. På grunn av god belysning, kom alle detaljene tydelig frem.

6.2.5 Modell nr. 6, fotostudiomodell: Lysholder av tinn

Modell nr. 6 er en antikk lysholder av herdet tinn. Dette objektet ble valgt grunnet det reflekterende materiale. Det ble avdekket i startfasen at *RealityCapture* har problemer med å lage modeller av gjenstander som kan gi gjenskinn. Videre ble det avdekket at dette kunne omgås ved bruk av spray som legger et matt belegg på objektet. Dette ble kjøpt inn og tatt med til fotostudio.



Figur 27: Bildet viser den eksporterte figuren (venstre), og figurens 500 078 polygoner (høyre)

Figur 28: Bildet viser behandlet figur (venstre), og figurens 27 494 polygoner (høyre)

Spesifikasjoner fra RealityCapture:

Filstørrelse: 327 MB

Polygoner: 13 050 680

Tekstur størrelse: 8K

Spesifikasjoner fra bearbeidet 3D-modell:

Filstørrelse: 6.73 MB

Polygoner: 27 494

Tekstur størrelse: 2K

Resultat

RealityCapture brukte 699 av 699 bilder og modellen ble laget uten videre bearbeiding i programmet. Modellen besto av 13 millioner polygoner, 8K teksturopløsning og var på 327 MB.

Det ble eksportert en 3D-modell med 500 078 polygoner og en teksturopløsning på 8K. Den ferdige modellen hadde 27 494 polygoner, 2K teksturopløsning og var på 6.73 MB. Dette er 348.7 % høyere enn gjennomsnitts modellen til *Spello*.

Det var som forventet problemer for *RealityCapture* å lage modell av objekter med gjenskinn. Derfor ble objektet sprayet for å gi den et matt belegg. Belegget ble ikke jevnt fordelt og det var flere synlige flekker på objektet. Dette er ikke noe problem siden original teksturen ikke skal brukes etter denne behandlingen.

Det ble lagt på ny tekstur som hadde relativt stor filstørrelse, for at modellen skulle ha en reflekterende overflate. Teksturen stod for 5.93 MB av den totale filstørrelsen. Denne nye teksturen gjør at den ikke er lik original modellen, og oppfyller dermed ikke kravet til kvalitet.

7 DISKUSJON

Målet for dette prosjektet var å se på hvordan 3D-modeller laget i *RealityCapture* kunne optimaliseres for bruk i *Mozilla Hubs* med *WebXR*, uten at det gikk på bekostning av kvaliteten. For å kunne svare på denne problemstillingen, ble det valgt å fokusere på noen hovedpunkter som vil bli gått gjennom nedenfor.

7.1 Lysforholdenes innvirkning

Gjennom å analysere resultatene som beskrevet i kapittel 6, ser man hvilken innvirkningen lysforholdene har på 3D-modellene.

Det var ingen problemer når det gjelder skygger på noen av 3D-modellene som ble tatt i fotostudio, og dette var egentlig som forventet. Mulighetene for å justere lyset etter behov er potensielt det mest optimale scenarioet for å lage gode ferdige 3D-modeller.

Av alle objektene som var lokalisert ute var det ikke spesielle problemer forbundet med uønskede skygger. Grunnet god planlegging, ble begge utemodellene tatt på dager med overskyet vær.

Av 3D-modellene som ble fotografert i hjemmestudio var det bare problemer med salmeboken. Dårlige lysforhold gjorde at den ferdige 3D-modellens tekstur, selv etter å ha blitt behandlet i *Lighroom* ble mørkere enn teksturen til den virkelige salmeboken.

Med dette utvalget av modeller, viser resultatene at lysforholdene har en innvirkning, men det kan i noen tilfeller motvirkes med å behandle bildene.

7.2 Reduksjon av polygoner

Når man ser på resultatet av 3D-modelleringen med hensyn til polygoner som beskrevet i kapittel 6, er det noen klare trender. Størrelse, form og detaljnivå vil avgjøre i hvilken grad antall polygoner kan reduseres. Med modeller som har enkle flater vil man kunne fjerne et høyt antall polygoner, og fortsatt beholde den opprinnelige formen.

Dette vil være vanskeligere med modeller som har et høyere detaljnivå, da det ikke vil være nok polygoner for å gjenskape fasongen. Modellen vil da se hakkete ut. Derfor er det stor forskjell på antall polygoner mellom modellene. Dette er synlig når man sammenligner inkastatuen med 3 736 polygoner mot treutskjæringen sine 32 518 polygoner.

Som det fremgår fra resultatene, var den ferdig optimaliserte 3D-modellen av søylen og statuen på 4K. Dette skjer hovedsakelig på grunn av objektets form og overflate. Både søylen og statuen er objekter med mye detaljer. Dette gjør det meget krevende å få med alle detaljene i en 2K tekstur, uten at det går ut over kvaliteten. Selv om teksturopløsningen er på 4K, kan de likevel

brukes i *Mozilla Hubs*. Det vil kun ha en påvirkning på hvor stor de andre 3D-elementene i scenen kan være.

Treutskjæringsmodellen kom under ønsket filstørrelse, med 2K tekstur. På modellen kan man merke noen ujevnheter som følge av redusert mengde polygoner, men dette er bare synlig når modellen studeres på veldig nært hold. Ujevnheterne er ellers ikke merkbare.

På de andre modellene var det ikke noen nevneverdige problemer når det gjelder teksturoppløsning og filstørrelse. Dette kan tyde på at objekter som er best egnet til å lage 3D-modeller i RealityCapture for *Mozilla Hubs* med *WebXR*, er objekter som har enkle former og en overflate som ikke inneholder store mengder med detaljer.

7.3 Gjenskinn

Når man lager 3D-modeller med gjenskinn, er det ikke mulig å bruke den originale teksturen. Det kan legges på ny tekstur på modellen, men det vil være svært vanskelig å gjenskape den helt lik som originalobjektet.

En grunn til dette er at objektene man ønsker å gjenskape, ofte har slitasje på teksturen eller kompliserte fargemønstre. Den nye teksturen vil være av et generelt materiale og være annerledes. Dette ble opplagt da man prøvde å legge ny tekstur på modellen av lysholderen. Det ble ikke funnet tekstur av tinn, og det nærmeste var av galvanisert stål. Resultatet ble en modell som hadde en mørkere tekstur, og var mer reflekterende.

7.4 Andre erfaringer fra utført arbeid

Underveis i prosjektet er det blitt gjort en del nyttige erfaringer. Et viktig punkt er å ta nok bilder av objektet. På noen av testmodellene som ble laget, ble flere av bildene som dekket hele objektet ikke tatt med i modellen.

Dette gjorde at *RealityCapture* ikke klarte å sette sammen bildene til en hel modell, men heller til flere oppdelte modeller. Her måtte man fysisk gå gjennom bildene og legge inn referansepunkt slik at de delte modellene kunne legges sammen til en enkel modell. Denne erfaringen gjorde at det ble tatt flere bilder av hvert objekt, samtidig som man sjekket hvor mange av disse som ble brukt av *RealityCapture* ved å ha med laptop på lokasjon. Dersom bilder ikke ble brukt av programmet, var man fortsatt på lokasjonen og kunne ta supplerende bilder for å skaffe nok bilder for å lage en best mulig 3D modell av objektet.

8 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

8.1 Konklusjon

Hovedmålet med dette prosjektet var å undersøke hvordan 3D-modeller fra *RealityCapture* kan reduseres for bruk i *Mozilla Hubs* med *WebXR*, uten at det går på bekostning av kvaliteten. Resultatene som har fremkommet etter gjennomføringen av prosjektet, viser tydelig at *RealityCapture* er et egnet verktøy til å lage 3D-modeller. Den er likevel ikke alltid optimal når det kommer til kravene som *Mozilla Hubs* har til størrelsen på scenen.

De seks utvalgte objektene som ble 3D-modellert i dette prosjektet, har gjort det mulig å trekke noen konklusjoner i forhold til fordeler og ulemper med å bruke *RealityCapture*. En generell observasjon av resultatene tilsier at det er krevende å redusere polygoner på modeller som har en høyt detaljnivå og mye former. Disse modellene vil også kreve en høy teksturopløsning for å få plass til alle overflatene til modellen på teksturavbildningen. Med disse modellene begrenser man muligheten for hvor mange andre 3D-elementene det kan være i den grafiske scenen i *Hubs*.

Modeller som har enkle former og er laget av materialer som ikke inneholder store mengder detaljer, er betydelig lettere å forenkle for *Hubs*. Med disse modellene vil man kunne utnytte plassen i den grafiske scenen bedre.

RealityCapture er mindre egnet til å brukes for objekter med reflekterende overflate, hvis man er avhengig å beholde teksturen til originale objektet. Hvis dette ikke er tilfellet, kan det legges til et lignende materiale, men da blir filstørrelsen til modellen høyere.

Lysforholdene er en viktig del av av prosessen for å få gode bilder til å bruke i *RealityCapture*, da dette påvirker hvordan teksturen til modellen vil bli seende ut. De optimale lysforholdene kan skapes i fotostudio. Bilder tatt utendørs kan også ha adekvate lysforhold, men dette forutsetter at det er overskyet.

Oppsummert er *RealityCapture* et glimrende verktøy til å lage realistiske 3D-modeller med høy kvalitet. Disse modellene kan reduseres med et tilfredsstillende resultat, men med visse begrensninger. Modellene har en filstørrelse som kan brukes i *Mozilla Hubs* med *WebXR*, men resten av scenen må taes med i betraktningen.

8.2 Videre arbeid

I avgrensningene nevnt tidligere i prosjektet, ble det valgt vekk et par områder som kunne vært interessante å utforske nærmere. Ett av disse områdene var fotogrammetri ved hjelp av drone, og da spesielt med tanke på å lage modeller av hele bygninger. Dette ville definitivt vært et omfattende og teknisk komplisert prosjekt, men også kunne gitt mange og verdifulle erfaringer.

Det kunne også vært aktuelt å lage modeller for tradisjonell VR oppsett. Ved å bruke et tradisjonelt VR oppsett, slipper man den strenge begrensningen for filstørrelsen og bruke 3D-modeller av mye høyere kvalitet.

I et potensielt videre samarbeid kan det være interessant å utforske en 3D-modell i *RealityCapture*, basert på innsiden av et rom. Her det mange interessante utfordringer, både i forhold til lysforhold og i forhold til størrelse. Dette er noe Spello også er interessert i, siden de tidligere har hatt prosjekter der de har utført manuelt modellering av slike typer rom.

9 REFERANSER

- About-Us - CapturingReality.com* (2022). Available at: <https://www.capturingreality.com/About-Us> (Accessed: 30 April 2022).
- Ali, A. *What Is Retopology In Blender? Simply Answered - Us3Dprinters*. Available at: <https://www.us3dprinters.com/what-is-retopology-in-blender/> (Accessed: 17 May 2022).
- Antipov, A. (2017) *Male Head - Download Free 3D model by Alexander Antipov (@Dessen) [0247a25]*. Available at: <https://sketchfab.com/3d-models/male-head-0247a25a04ba46b99629130277fe39b7> (Accessed: 17 May 2022).
- Baechler, O. and Greer, X. (2020) *Blender 3D by Example*. Second. Packt Publishing Limited.
- Bratberg, T. (2020) *Lysekloster – Store norske leksikon*. Available at: <https://snl.no/Lysekloster> (Accessed: 16 May 2022).
- Burke, S. *Specs Dictionary - Texture Resolution | GamersNexus - Gaming PC Builds & Hardware Benchmarks*. Available at: <https://www.gamersnexus.net/dictionary/7-game-graphics-settings/42-texture-resolution> (Accessed: 16 May 2022).
- CR, L. (2019) *How long is the computation time? – RealityCapture Support*. Available at: <https://support.capturingreality.com/hc/en-us/articles/115001483931-How-long-is-the-computation-time-> (Accessed: 19 May 2022).
- Cultural Heritage - CapturingReality.com* (2022). Available at: <https://www.capturingreality.com/cultural-heritage> (Accessed: 15 May 2022).
- Det smidige manifestet*. Available at: <http://agilemanifesto.org/iso/no/principles.html> (Accessed: 1 May 2022).
- Eck, D.J. (2021) *Introduction to Computer Graphics -- Title Page*. Available at: <https://math.hws.edu/graphicsbook/index.html> (Accessed: 16 May 2022).
- Epic Games* (2021). Available at: <https://www.epicgames.com/site/en-US/news/capturing-reality-is-now-part-of-epic-games> (Accessed: 30 April 2022).
- Erickson, L. (2020) *Scene failed to load · Discussion #3260 · mozilla/hubs · GitHub*. Available at: <https://github.com/mozilla/hubs/discussions/3260#discussioncomment-128836> (Accessed: 16 May 2022).
- Fundamentals of WebXR* (2022). Available at: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebXR_Device_API/Fundamentals (Accessed: 18 May 2022).
- GitHub - mozilla/Spoke* (2022). Available at: <https://github.com/mozilla/Spoke> (Accessed: 18 May 2022).
- Hanson, T. (2020) *Getting started with RealityCapture with Timothy Hanson - webinar recording - YouTube*. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=jeeccnjWIZs> (Accessed: 14 May 2022).
- Hellman, T. and Lahti, M. (2018) *PHOTOGRAMMETRIC 3D MODELING FOR VIRTUAL REALITY*. Seinäjoki University of Applied Sciences, p. 17. Available at: https://www.researchgate.net/publication/327227913_PHOTOGRAMMETRIC_3D_MODELING_FOR_VIRTUAL_REALITY (Accessed: 1 May 2022).
- Hubs by Mozilla*. Available at: <https://hubs.mozilla.com/docs/spoke-adding-scene-content.html> (Accessed: 18 May 2022).
- mia.no*. Available at: <https://mia.no/roaldamundsen/digitalt> (Accessed: 1 May 2022).
- Selin, E. (2020) *How to bake textures in Blender - Artisticrender.com*. Available at:

<https://artisticrender.com/how-to-bake-textures-in-blender/> (Accessed: 21 May 2022).

Spello. Available at: <https://spello.no/#om-spello> (Accessed: 30 April 2022).

Spoke by Mozilla. Available at: <https://hubs.mozilla.com/spoke> (Accessed: 4 May 2022).

Steam (2020). Available at:
https://store.steampowered.com/app/1435700/Roald_Amundsens_House/ (Accessed: 4 May 2022).

stratum3d.no. Available at: <https://stratum3d.no/product/aesub-orange-3d-scan-spray/> (Accessed: 1 May 2022).

TekLab. Available at: <https://teklab.uib.no/om-teklab/> (Accessed: 30 April 2022).

Thacker, J. (2016) *Capturing Reality releases RealityCapture | CG Channel*. Available at: <http://www.cgchannel.com/2016/02/capturing-reality-releases-realitycapture-in-open-beta/> (Accessed: 15 May 2022).

Total Baker - User Manual. Available at:
http://threepointsoft.altervista.org/TB/docs/texture_baking.html (Accessed: 21 May 2022).

Verma, A. (2021) *Blender 2.9: UV Mapping – Simply Explained | All3DP*. Available at: <https://all3dp.com/2/blender-uv-mapping-simply-explained/> (Accessed: 16 May 2022).

World heritage - CapturingReality.com. Available at:
<https://www.capturingreality.com/world-heritage-sites-now-accessible-to-e> (Accessed: 18 May 2022).

wowza.com. Available at:
<https://www.wowza.com/wp-content/uploads/360-VR-Training-Workflow-Ven-Diagram-v1.png> (Accessed: 21 May 2022).

Yao-An Lee, A. (2017) *A Guide To Capturing and Preparing Photogrammetry For Unity*. Manual, p. 99. Available at:
<https://opengeography.sites.olt.ubc.ca/files/2019/03/A-Guide-To-Capturing-and-Preparing-Photogrammetry-For-Unity.pdf> (Accessed: 5 May 2022).