



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Dokumentasjon og presentasjon av  
Håkonshallen

Documentation and presentation of  
Haakonshallen

Landmåling og eiendomsdesign  
Institutt for byggfag  
Veileder: Stig Frode Samnøy

Christian Aure Aannø, Jørgen Holthe Andersen, Oskar  
Andreas Nygaard

22.05.2019

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, §10

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som et avsluttende arbeid på studiet Landmåling og eiendomsdesign ved Høgskulen på Vestlandet i Bergen. Oppgaven ble utarbeidet og ferdigstilt våren 2019.

Valget av en bacheloroppgave som omhandler bruken av moderne teknologi for å ta vare på historiske objekter har bakgrunn i vår egen interesse for både historie og det nye innen landmålingsfaget.

Vi vil takke Institutt for byggfag ved Høgskulen på Vestlandet for lån av det nødvendige utstyret. Vi vil også takke formidler ved Bymuseet i Bergen Espen Svendsen for tilgjengeliggjøring av Håkonshallen, samt husholdsleder ved Håkonshallen Kjell-Erik Hopland, og festningsforvalter ved Bergenhus Festning Vidar Andres Fyllingsnes, for deres tilgjengelighet og hjelpsomhet gjennom hele prosessen. En spesiell takk rettes til slutt til vår veileder Stig Frode Samnøy for god veiledning gjennom hele arbeidsperioden.

Mai 2019

  
Oskar Andreas Nygaard

  
Christian Aure Aannø

  
Jørgen Holthe Andersen

## Sammendrag

Det har opp gjennom historien vært mange forskjellige måter å dokumentere og bevare kulturminner på. Laserskanning er en fremadstormende metode som stadig blir mer utbredt, og på bakgrunn av den nylige brannen i Notre-Dame, ser vi hvor viktig dette arbeidet er. Tradisjonelt sett har det ikke vært særlig fokus på formidling, men med dagens teknologi har man fått et bedre grunnlag for å kunne presentere kulturminner på en lærerik og interessant måte.

Laserskanning har vært benyttet for å hente inn data, som videre har blitt prosessert og benyttet til å opprette 3D-modeller av Håkonshallen i Bergen. I dette case-studiet ble hallen laserskannet både innvendig og utvendig, og bilder ble tatt med skannerens integrerte kamera.

Resultatet viser at det er mulig å opprette gode 3D-modeller med teksturering, samt at laserskanning egner seg godt til bevaring og digital presentasjon av kulturminner. Samtidig genererer skanneprosessen datamengder som gjør det nødvendig å forenkle 3D-modellen for kunne presentere den i en webløsning.

VR-teknologi er et spennende felt som egner seg godt til formidling av kulturminner. Dagens teknologi gjør det mulig å produsere og presentere VR-løsninger både ved hjelp av laserskanning og 360°-fotografering.

## Abstract

There have been many different ways of documenting and preserving cultural monuments throughout history. Laser scanning is a progressive method that is becoming more and more prevalent today, and on the basis of the recent fire in Notre-Dame we see how important this work is. Traditionally, there has not been much focus on dissemination, but with today's technology one has gained a better basis for being able to showcase cultural monuments in an educational and interesting way.

Laser scanning has been used to retrieve data, which has been further processed and used to create 3D models of Håkonshallen in Bergen. The hall was laser scanned both internally and externally, and images were taken by the scanner's integrated camera.

The result shows that it is possible to create good 3D models with texturing, and that laser scanning is well suited for preservation and digital presentation of cultural monuments. At the same time, the scanning process generates an amount of data that makes it necessary to simplify the 3D model in order to present it in a web solution.

VR technology is an exciting field that is well suited for the dissemination of cultural monuments. Today's technology makes it possible to produce and present VR solutions using both laser scanning and 360° photography.

# 1 Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	2
Abstract.....	3
2 Figurliste.....	6
3 Introduksjon.....	8
3.1 Bakgrunn .....	8
3.2 Valg av studieobjekt.....	8
3.3 Problemstilling .....	9
4 Teori.....	10
4.1 Laserskanning.....	10
4.2 VR .....	12
4.3 Kulturminner .....	13
4.3.1 Håkonshallen.....	15
5 Metode.....	17
5.1 Datainnsamling.....	17
5.1.1 Grunnlagsnett.....	17
5.1.2 Innmåling av blinker med totalstasjon.....	19
5.1.3 Terrestrisk laserskanning .....	21
5.2 Prosessering og bearbeiding av data .....	24
5.3 3D-modell.....	25
5.4 VR .....	26
5.5 Programvare .....	27
6 Resultat .....	30
6.1 3D-modell.....	30
6.2 VR .....	31
6.3 Registrering .....	34
6.4 Fastmerker og innmålte blinker.....	38
7 Analyse .....	40
7.1 Dimensjonskontroll .....	40
7.2 Punktskyen .....	41
7.3 3D-modell.....	41
8 Drøfting .....	43
8.1 3D-modell.....	43
8.2 VR .....	43
8.3 Punktskyen .....	45

8.4	Laserskanning.....	45
9	Konklusjon.....	51
10	Veien videre.....	52
11	Digitale vedlegg på ekstern harddisk.....	53
11.1	Rapporter.....	53
11.1.1	Leica Infinity.....	53
11.1.2	Gemini Oppmåling.....	53
11.1.3	Leica Cyclone .....	53
11.2	Rådata.....	53
11.3	Utstyrliste.....	53
12	Litteraturliste .....	54

## 2 Figurliste

Figur 1: Field-of-view med Leica ScanStation P20.....	10
Figur 2: Fastmerker FM1-FM4 etter vektorprosessering vist i Gemini Oppmåling.....	18
Figur 3: B33T0688.....	18
Figur 4: Utsnitt fra underveisprosessering i Leica Infinity .....	19
Figur 5: Utjevning etter grovfeilsøk .....	20
Figur 6: Utsnitt av målte blinker, totalstasjonsoppstillinger og fastmerker.....	20
Figur 7: Håkonshallen sett fra utsiden, festsalen og i trappeoppgangen.....	21
Figur 8: Utvendige laserskannoppstillinger rundt Håkonshallen.....	22
Figur 9: Laserstasjoner og blinker. Brun farge (S-punkter) er stasjoner. Grå farge (B-punkter) er blinker. ....	23
Figur 10: Illustrasjon av blinker og stasjoner i festsalen .....	24
Figur 11: Utvalg av blinker plassert i trappehuset .....	24
Figur 12: Her vises meshet med og uten teksturering i CloudCompare, og med en dybde på 9. ....	26
Figur 13: 3D-modell vist i CloudCompare .....	30
Figur 14: 3D-modellen vi sitter igjen med etter å ha arbeidet i Leica Cyclone, CloudCompare og Cinema 4D. I modellen finnes 1 100 000 triangler og 562 000 vertexer. Se vedlegg 11.2.1.5 for video av modellen .....	30
Figur 15: 3D-modellen i Sketchfab. Når man benytter seg av VR-funksjonen får man point-of-view fra menneskefigurens perspektiv og beveger seg rundt i omgivelsene i det forholdet som figuren viser.....	31
Figur 16: VR-fremvisning i Google Street View fra festsalen .....	32
Figur 17: VR-fremvisning i Google Street View sett fra utsiden av hallen.....	32
Figur 18: VR i Sketchfab sett fra borggården .....	33
Figur 19: VR i Sketchfab fra langsiden .....	33
Figur 20: Utsiden ferdig registrert med intensitetsverdier. Intensitetsverdier indikerer hvor mye av lyspulsene som blir reflektert tilbake fra objektet.....	34
Figur 21: Utsiden ferdig registrert her i gråskala.....	34
Figur 22: Innsiden av trappeoppgangen etter registrering i Cyclone. Her fremvist med tekstur dannet ved hjelp av Leica P20s eget kamera. ....	35
Figur 23: Utsnitt trappeoppgangen ferdig registrert .....	35
Figur 24: Festsalen ferdig registrert fremvist med intensitetsverdier .....	36

Figur 25: Festsalen ferdig registrert i gråskala .....	36
Figur 26: Utsiden, trappeoppgangen og festsalen slått sammen til en felles punkttsky .....	37
Figur 27: Sammenslått punkttsky illustrert med Leica P20s integrerte kamera .....	37
Figur 28: Til venstre ser man før trapp, festsal og utsiden var sammenslått. Til høyre ser man at det svarte "tomrommet" er utfyllt. Dette er den endelig registrerte punkttskyen som er blitt én sammenslått punkttsky bestående av trapp, festsal og utside.....	38
Figur 29: FM1-FM4 og stamnettpunktet B33T0688 .....	38
Figur 30: Stasjoner og blinker fra utendørsskannet .....	39
Figur 31: Grunnriss fra gulvhøyde i festsalen med tilhørende avstander .....	40
Figur 32: Høyder og bredde på nordveggen .....	41
Figur 33: Her vises triangulering med og uten teksturering i Cinema 4D. Årsaken til at trianguleringen er svakere på enkelte områder skyldes at det er mindre punktethet, som igjen danner grunnlaget for trianguleringsprosessen. ....	42
Figur 34: Detaljnivået på trianguleringene i CloudCompare. I modellen finnes 1 100 000 triangler og 562 000 vertexer .....	42
Figur 35: Eksempel på triangulering av den sammenslåtte punkttskyen som ikke gav et godt resultat.....	43
Figur 36: Nederst på taket og på toppen av trappeoppgangen ser man områder hvor laserskanneren ikke har hatt tilstrekkelig sikt fra bakkeplan .....	45
Figur 37: Festsalen og kongesetet. Avsperringstauet er vagt synlig rett før trinnene opp til kongesetet. ....	47
Figur 38: Stativ stående på stjernefot.....	47
Figur 39: Her ser vi før og etter punktrensk av en blink på stativ .....	48
Figur 40: Her ser man festsalen før og etter punktrensk av det som trolig er menneskelige bevegelser .....	49
Figur 41: Støy før og etter punktrensk .....	50



## 3 Introduksjon

### 3.1 Bakgrunn

Kulturminner og historie er viktig for å forstå fortiden. Ved å forstå fortiden vil det også være enklere å forstå både nå- og framtiden. Opp gjennom historien har det vært mange ulike måter å dokumentere, bevare og formidle kulturminner sin historie på. Og med tiden dukker det også opp nye måter å gjøre dette på. Et av målene med denne oppgaven er å kunne dokumentere, digitalt bevare og formidle et viktig kulturminne på en moderne måte.

Oppgaven er en del av et dokumentasjons- og visualiseringsprosjekt ved HVL der moderne innsamlings- og visualiseringsteknikker brukes for å vise frem de viktigste kulturminnene vi har i Norge. Gjennom denne løsningen kan kulturminner bli tilgjengeliggjort for menigmann på en artig og lærerik måte.

Tanken bak oppgaven er også å få en 3D-modell av bygningen av en slik kvalitet at det kan brukes til bevaring og restaurering av bygget om det skulle skje noe. Laserskannerteknologi har vært kjent en stund, men den utvikler seg nå i en høy fart og blir mer og mer vanlig. Nylig er dokumentasjon av kulturminner blitt aktualisert ved brannen i Notre-Dame. Andrew Tallon har i nær fortid utført målinger av kirken som kan være med på å reise den igjen (Lou og Griggs, 2019). Dette understreker viktighet av å bevare og dokumentere kulturminner, og at laserskanning er en av flere metoder for å gjøre nettopp dette.

### 3.2 Valg av studieobjekt

Håkonshallen er en før-reformatorisk steinhall reist i tidsperioden 1247-1261. Hallen ligger plassert på Bergenshus Festning, og er en sentral del av Bergens historie. Håkonshallen har blitt dokumentert på mange forskjellige måter tidligere. I boken "Fra kongssete til kulturminne" (2011) kan man lese om Håkonshallens historie og se mange ulike tegninger og fotografier som er produsert i årenes løp. Dette er et eksempel på skriftlig, fotografisk og tegnerisk fremstilling av studieobjektet. Ved å kombinere disse ulike metodene får man en beskrivende og god fremstilling av Håkonshallen.

Dokumentasjon gjennom tegninger, fotografier og skriftlige beskrivelser er gode metoder. Med dagens teknologi er det mulig å produsere punktskyer som samler inn store mengder koordinatfestet data. På denne måten kan man lage nøyaktige 3D-modeller av kulturminner. En 3D-modell kan blant annet brukes til digital presentasjon, bevaring og kvalitetskontroll av

Håkonshallen. Så vidt oss bekjent, er ikke Håkonshallen blitt dokumentert med denne teknologien tidligere. Laserskanning av Håkonshallen vil derfor tilføre bygget nye data som kan benyttes til ulike formål.

Ved å kombinere Leica P20s laserskanning og integrerte kamerafunksjon har vi utført en case-studie med Håkonshallen som studieobjekt.

### 3.3 Problemstilling

I denne oppgaven skal vi lage en digital replika av Håkonshallen på Bryggen i Bergen ved hjelp av høyoppløselig laserskanneteknologi. Metoden muliggjør både tre-dimensjonal dokumentasjon og presentasjon av kulturminnet. I tillegg til å dokumentere Håkonshallen, skal vi også presentere det digitale resultatet ved hjelp av moderne visualiseringsteknikker, herunder Virtual Reality (VR), som tilbys av 3D software.

Problemstillingen er tredelt. Den første delen tar for seg datainnsamling ved hjelp av laserskanner og tilhørende utstyr. Andre del tar for seg bearbeiding av innsamlet data som danner grunnlaget for å kunne presentere Håkonshallen i 3D. Siste del av problemstillingen tar for seg forskjellige former for presentasjoner, som 3D-modeller og VR-opplevelser, av Håkonshallen.

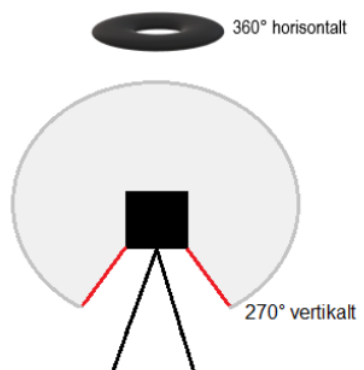
## 4 Teori

### 4.1 Laserskanning

Light Detection And Ranging (LiDAR), eller laserskanning, bruker lys for å bestemme avstanden til et objekt. Dette er en fjernmålingsteknikk som blir brukt til å kartlegge jorden, men som også kan benyttes til oppmåling av menneskeskapte objekter. Innenfor laserskanning skiller man ofte mellom terrestrisk og flybåren. Felles for disse to metodene er at man må vite hvor instrumentet er lokalisert og orientert. Med utgangspunktet i instrumentets lokalisering og orientering kan man kombinere disse med avstanden til punktet man måler mot. Da blir alle punkter georeferert, og sluttproduktet er en georeferert punktsky (Grinderud og Haavik-Nilsen, 2016, s. 58).

Laserskannere kan bruke to forskjellige metoder for å måle punkter; fasebasert og pulsbasert. Pulsbaserte målinger, også kalt «Time-of-flight», måler punkt ved at det sendes ut en lypuls som treffer måleobjektet, for så å returnere til laserskanneren. Pulsbaserte målinger har en fordel ved å ha en lenger effektiv rekkevidde. Metoden fungerer ved at lysets hastighet er kjent, og at man dermed kan beregne avstanden når man har tiden pulsen bruker på å returnere. Ulike faktorer som temperatur, trykk og fuktighet må tas med som parametere for å få gode målinger (Vosselman og Maas, 2010, s. 3). Fasebaserte målinger baserer seg på faseforskjellene mellom bølgelengder og tidsforsinkelsen som oppstår. Med dette kan man finne avstanden til objektet. Fasebaserte målinger har høyere datarate og høyere nøyaktighet sammenlignet med pulsbaserte målinger (Vosselman og Maas, 2010, s. 8).

Vi har brukt Leica ScanStation P20 som laserskanner. Denne er pulsbasert og har en nøyaktighet på 3 millimeter på 50 meter og 6 millimeter på 100 meter. Rekkevidden strekker seg til 120 meter og den kan skanne opp til 1 million punkt per sekund. Skannefeltet er på 360° horisontalt og 270° vertikalt (Leica Geosystems, 2014, s. 129-131).



Figur 1: Field-of-view med Leica ScanStation P20

Formelen for å finne avstanden til et objekt med en pulsbasert laserskanner er gitt ved:

$$\rho = \frac{c}{n} \cdot \frac{\tau}{2}$$

der  $\rho$  angir avstand,  $c$  er lyshastighet og  $n$  er refraksjonsverdien.  $\frac{\tau}{2}$  representerer halve tiden av «Time-of-flight» da pulsen måles tur/retur objektet (Vosselman og Maas, 2010, s. 3).

Minimum antall blinker er avhengig av om man har 4 eller 6 parametere å forholde seg til. Ved 4 parametere, 3 transformasjoner og 1 rotasjon rundt z-aksen, er to blinker minimum. Ved 6 parametere, 3 transformasjoner og 3 rotasjoner, er tre blinker minimum (Leica Geosystems, 2013, s. 69). Ved å ha kompensator påslått, vil man ha et minimum på to blinker. Ved å ha kompensator avslått, må man minimum ha tre blinker.

Det er mange måter å dokumentere kulturminner på. Gustavsen (2009) undersøkte i 2008 om laserskanning som dokumentasjonsmetode av stavkirker og andre stående bygninger var egnet. Prosjektet gav gode resultater. Dataene som ble samlet inn dannet grunnlaget for analyse, visualisering og tolkningsarbeid. Det tredimensjonale bildet fungerer også som en sikkerhetskopi av bygningsmassen (Gustavsen, 2009, s. 15).

Laserskanning er en teknologi som påvirker måleobjektet i svært liten grad. Det er en berøringsfri dokumentasjonsmetode, og dermed en skånsom metode for kulturminner. Ved å knytte dataene opp mot eksterne fastmerker er de også etterprøvbare. På denne måten kan man foreta en ny måling på et senere tidspunkt for å se om det er skjedd endringer med måleobjektet. Ved å sammenligne dataene fra de to ulike tidspunktene, kan man da overvåke eventuelle endringer (Gustavsen, 2009, s. 18).

Som nevnt tidligere vil nøyaktigheten på målingene minke ettersom avstanden til objektet øker. Det finnes skannere som er ment for å måle på avstander fra 0,1-1 meter, 1-10 meter og 10-100 meter. Kulturminner finnes i ulike størrelser og fasonger, og man burde velge en laserskanner som er best egnet for det objektet som skal skannes. Dette er for å bevare høyest mulig nøyaktighet av det som skannes (Boehler og Marbs, 2002, s. 2). En av grunnene til at nøyaktigheten minsker når avstanden øker er stråledivergens. Det vil si at lystrålen etterlater seg et større fotavtrykk når avstanden øker, og diameteren på lysstrålen blir større (Vosselman og Maas, 2010, s. 12).

Laserskanning er en effektiv og nøyaktig målemetode som samler inn mye data på kort tid. Dette er en teknikk som kan brukes til komplekse oppgaver. På grunn av muligheten til stor

datafangst, og fremstilling av punktskyer, er laserskanning ofte brukt innen kulturminnefeltet (Vosselman og Maas, 2010, s. 271).

Med tanke på vedlikeholds- og restaureringsarbeider er oppmåling et grunnleggende forarbeid i prosessen. Med gode oppmålinger har man hele tiden kontroll over hva som er blitt gjort med bygningsmassen. Man har på denne måten kontroll på hva som er gjort etter et tiltak, men også hvordan tilstanden til objektet var før tiltaket. God dokumentasjon av kulturminner fungerer også som et sikkerhetstiltak mot uforutsette og ødeleggende hendelser av bygningene (Pedersen, 2016, s. 173).

Pedersen (2016, s. 173) vektlegger videre at oppmåling er det man kaller for aktiv kildeskaping, og at den faglige forståelsen for oppmålingsarbeidet er tilstede for dem som utfører jobben. I Vosselman og Maas (2016, s. 271-290) kan man lese om ulike metoder for laserskanning av kulturminner, herunder blant annet skanning av Petra i Jordan og pyramidene i Giza. Det blir vist til flere gode metoder for dokumentasjon og bevaring av kulturminner.

## 4.2 VR

Virtual reality (VR), eller virtuell virkelighet, er en teknologi i stor utvikling som tillater brukergruppen å bevege seg ut av den virkelige verden, og inn i en virtuell verden. Denne virtuelle virkeligheten kan bestå av enten utelukkende konstruerte bilder fra en datamaskin eller den kan være basert på bilder eller video. Mulighetene for VR-markedet er stort, og man har de siste årene sett at det finnes mange utviklings- og bruksmuligheter for denne teknologien innenfor blant annet media, undervisning, helse, industri, og ikke minst innenfor spillutvikling (Urke, 2018, s. 16). Urke (2018, s. 19) definerer videre VR som «ulike teknologier som gjennom digitalt skapte sanseinntrykk gir deg en følelse av å være et annet sted». Hvordan man opplever effekten av VR er basert på selve innholdet og det tekniske utstyret. Med dagens teknologi strekker utstyret seg fra enkle VR-briller man enkelt kobler sammen med en smarttelefon til heldekkende VR-briller med tilhørende øretelefoner og bevegelsessensorer. Urke (2018, s. 19) rangerer de ulike teknologiene innenfor VR i hovedsak basert på potensialet det har for innlevelse fra lavt (1) til høyt (7):

1. 360°-foto
2. 360°-video
3. Stereoskopisk 180°-video

4. Stereoskopisk 360°-video
5. Datagenerert VR
6. Volumetrisk 360°-video
7. Volumetrisk interaktiv 360° med full haptisk respons

Ved bruk av laserskanning kan man opprette 3D-modeller av for eksempel allerede eksisterende bygg, gjenstander eller større områder. I løpet av de siste årene har laserskanning som metode utviklet seg i stor fart, hvor brukervennlighet, oppløsning og nøyaktighet har vært i fokus. Urke (2018, s. 71) nevner at blant annet KRIPOS har tatt i bruk laserskanning på åsteder for å blant annet få bedre oversikt over et område. Dette viser allsidigheten ved bruk av laserskanner for å opprette 3D-modeller, noe som igjen kan overføres til VR-teknologi om ønskelig.

VR-teknologiens utvikling åpner også dørene for å tilgjengeliggjøre, bevare og viderefremde blant annet kulturminner og øvrig historie. Urke (2018, s. 48) nevner selskapet Tidvis, som ifølge nettsiden deres «er et ideelt AS som utforsker og utvikler nye måter å formidle og tilgjengeliggjøre historie på» (Tidvis, u.å.). Tidvis har digitalisert en rekonstruksjon av Oslo slik den framstod i 1798 (Urke, s. 48). Dette skaper et helt nytt aspekt av læren om historie, ettersom man på denne måten ikke bare leser og visualiserer seg hvordan det var, men faktisk får en unik mulighet til å oppleve og se hvordan det var i Oslo på denne tiden.

### 4.3 Kulturminner

Kulturminner er hovedkilden til vår egen historie, og har dermed formet mye av grunnlaget for det samfunnet vi har i dag. Kulturminner vitner blant annet om historiske hendelser og aktiviteter som har funnet sted (Riksantikvaren, u.å. a), og i kulturminneloven (1978, § 2) er kulturminner definert som «alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro eller tradisjon til».

Med dette lagt til grunn er det viktig å verne om kulturminnene vi har i dag, både i Norge og resten av verden. Kulturminner er ikke-fornybare ressurser som vil forsvinne for all fremtid dersom de blir ødelagt. Kulturminner er ofte sårbare for ytre påvirkninger, og vi ser dessverre en økende grad av skader og ødeleggelse på kulturminner i dag (Riksantikvaren, 2018). I denne sammenheng peker Riksantikvaren (2016, s. 7) på urbanisering, fraflytting, forverring av offentlig økonomi og klimaendringer som noen av de største truslene.

Vern av kulturminner ble ikke påtenkt før siste halvdel av 1700-tallet, da enkeltpersoner med interesse for feltet tok initiativ til bevaring av private samlinger. Man setter ofte denne økende interessen i forbindelse med tilblivelsen av det selvstendige Norge i 1814, ettersom dette førte med seg en sterk nasjonalfølelse som ga et godt grunnlag for å bevare landets kulturskatter. Dette gjennombruddet ble også grunnlaget for våre første museer her til lands, som kan sies å ha vært viktig for den bevaringen som fant sted før myndighetene etter hvert tok ansvar, og opprettet lov om fredning i 1905, med det påfølgende riksantikvarembetet opprettet i 1912 (Johnsen, 1986, s. 9).

En annen viktig faktor for tidlig bevaring av kulturminner har vært opprettelsen av Fortidsminneforeningen i 1844. Her dro mange av de fremste arkitektene rundt i Norge for å dokumentere mest mulig av den norske arven. Blant annet hadde man takket være disse tilgang på tegninger av gårder, kirker og andre bygg. I dag er dette tegningsarkivet godt bevart og en viktig del av arkivet hos Riksantikvaren (u.å. b).

I 1978 får vi Kulturminneloven. Her står vern om kulturhistoriske objekter og miljøer svært sentralt. I kulturminnelovens formålsparagraf (1978, § 1) ser vi at «det er et nasjonalt ansvar å ivareta disse ressurser som vitenskapelig kildemateriale og som varig grunnlag for nålevende og fremtidige generasjoners opplevelse, selvforståelse, trivsel og virksomhet».

Dette lovverket brukes som grunnlag for å verne om kulturminner i Norge, noe som er svært viktig for å videreføre en del av identiteten og tilhørigheten vår. Samtidig viser en rapport utarbeidet av Menon Economics på oppdrag fra Riksantikvaren (Menon Economics, 2017, s. 4) at kulturarven er viktig i forbindelse med turisme og verdiskapning, noe som ikke bare gjør den viktig i et nasjonalt perspektiv, men også for næringsdrift og næringsutvikling.

I Norge er det Riksantikvaren som er øverste fagmyndighet for kulturminneforvaltning, og de er ansvarlig for at blant annet den statlige kulturminnepolitikken blir gjennomført (Riksantikvaren, u.å. c). Riksantikvaren skal både ivareta, dokumentere og tilgjengeliggjøre kulturminner og tilhørende data for allmenheten. Til dette brukes databasen for kulturminner som kalles Askeladden og nettsiden [www.kulturminnesok.no](http://www.kulturminnesok.no). Her finner man data og informasjon om kulturminner og miljøer som er fredet etter kulturminneloven, vernet etter plan- og bygningsloven, eller som er vurdert som verneverdige i et kulturminnefaglig perspektiv (Riksantikvaren, u.å. d).

Til tross for at Riksantikvaren har et overordnet ansvar som øverste fagmyndighet, har vi alle et ansvar for å ivareta og forvalte kulturminner og -miljøer for både nåværende og fremtidige

generasjoner (Norsk Kulturminnefond, 2014). En fremadstormende metode som brukes for å dokumentere kulturminner i dag er nettopp laserskanning.

#### 4.3.1 Håkonshallen

Håkonshallen er en steinhall fra middelalderen som befinner seg på Bergenhus Festning. Hele steinkonstruksjonen på Bergenhus var et enormt anlegg på denne tiden, og det ble bygget som et symbol på stor kongelig makt. Den ble reist et sted mellom år 1247 og 1261, og var tiltenkt som kongebolig og festsal. Håkonshallen var det mest kjente av flere store byggeprosjekter som ble reist av Håkon Håkonsson på denne tiden. Hallen ble innviet 11. september 1261 ved at kongsdatter Ingebjørg og Magnus Lagabøte ble viet. Håkonshallen har også vært viktig i det politiske liv ettersom den ble et sentrum for mange store politiske hendelser, blant annet arbeidet og ferdigstillingen av Norges første samlede lovverk. På dette tidspunktet var Bergen den største og viktigste byen i Norge, som førte til at Håkonshallen var et viktig og sentralt monument.

I 1944 gikk ammunisjonsskipet Voorbode i luften på Vågen rett utenfor hallen, noe som førte til enorme skader på bygget. Taket, inventaret og deler av den ytre konstruksjonen forsvant, og man måtte restaurere hallen. Dette arbeidet ble fullført i 1966. Mesteparten av grunnmuren står slik den gjorde før eksplosjonen, mens inventaret som finnes i hallen i dag er det som ble satt inn etter denne ulykken. I dag har Håkonshallen status som automatisk fredet i henhold til kulturminneloven § 4, og restaureringsarbeidet ble i 2006 fredet ved forskriftsfredning av mai 2006 i henhold til kulturminneloven § 22 a. I dette fredningsvedtaket står det skrevet at «Restaureringen og gjenreisningen av Bergenhus i årene 1944 -1966 er et av de største helhetlige tiltak av dette slag i landet etter krigen». Totalt sett utgjør verneomfanget hele middelalderbygningen, inklusiv kongeinngangen på sørsiden og som nevnt restaureringsarbeidet utført etter krigen (Statsbygg, 2009).

For å få en bredere forståelse av viktigheten av Håkonshallen i middelalderen, ser vi videre på utvikling av Bergen som by. Byene i middelalderen var stort sett grunnlagt av konger og bygget rundt kongsgårder. Det var her man fant rikdom og ressurser. Bergen var Norges desidert største by med et innbyggertall på rundt 6000 mennesker. Til sammenligning hadde de nest største byene, Nidaros og Oslo, omtrent halvparten av dette. Som den største byen, så var også Bergen den eneste handelsbyen av betydning. Dette var i all hovedsak takket være hanseatene som drev med eksport og videresalg av tørrfisk til Europa. Dette førte videre til at



Bergen, som handelsby, var særdeles viktig for oppbyggingen av en stabil markedsøkonomi som i senere tid førte til gjennombruddet for kapitalismen. Med tanke på den store og viktige plassen Bergen hadde i datidens Norge, ble dette et sentrum for viktige møter, avgjørelse og begivenheter. Håkonshallen ble valgt som hovedsete for disse begivenhetene (Orning, 2018). Med dette lagt til grunn, kan vi trygt konkludere med at Håkonshallen har spilt en sentral rolle i norsk middelalderhistorie, og ikke minst at den har vært et svært viktig monument for bevaring og forståelse av middelalderhistorie i Norge, og spesielt i Bergen.

## 5 Metode

Vår oppgave var å laserskanne Håkonshallen. Dette innebar å danne et koordinatfestet nett av punkter, også kalt grunnlagsnett, og å samle inn data fra både inn- og utsiden.

Grunnlagsnettet ble dannet ved hjelp av GNSS, og etterarbeidet i Leica Infinity. Blinker ble målt inn med totalstasjon og utjevnet i Gemini Oppmåling. Punktskyen av bygget ble opprettet ved hjelp av en laserskanner og etterarbeid i flere forskjellige programmer. Se vedlegg 11.3 for komplett utstyrsliste.

### 5.1 Datainnsamling

#### 5.1.1 Grunnlagsnett

For å ha koordinater å gå etter, må det først dannes et grunnlagsnett. Dette grunnlagsnettet skal være punkter rundt objektet man laserskanner som gjør det lettere å orientere seg, og for å kunne koordinatfeste objektet. Det stilles ulike krav til grunnlagsnettet, alt etter hvilket formål det har.

Måleprosessen ble startet med å etablere et grunnlagsnett med fire fastmerker (se figur 2). En av grunnene til dette er at vi vil knytte skannedataene opp mot fastmerker for å gjøre dem etterprøvbare. Kartverket gir noen generelle retningslinjer til hensyn man må ta i standarden “Satellittbasert posisjonsbestemmelse” (2009). For å etablere nye fastmerker har vi tatt i bruk stamnettpunktet (B33T0688) som befinner seg i nordøstre del av festningen. Vi har valgt GNSS-statisk fremfor GNSS-sanntid for å få en bedre nøyaktighet på fastmerkene. Til å utføre målingene har vi brukt Leica GNSS GS14 og GS18. Fastmerkene ble plassert slik at det var gode siktlinjer med oppstillinger imellom dem. Vektormålingene ble planlagt slik at vi fikk et lukket polygon. Se vedlegg 11.1.1 for rapporter som blir vist til i avsnitt 4.2.1 Grunnlagsnett.



Figur 2: Fastmerker FM1-FM4 etter vektorprosessering vist i Gemini Oppmåling

Satellittdekning er en av flere faktorer som kan påvirke målingene. Satellittdekning varierer gjennom døgnet. Når det foretas statiske målinger er fire synlige satellitter et absolutt minimum, men det burde være fem-seks (Kartverket, 2009, s. 16).

En annen faktor som spiller inn er satellittgeometri. Satellittgeometri finner man ved å lese av PDOP-verdien. En høy PDOP-verdi viser at det er dårlig satellittgeometri, mens et lavt tall sier oss at geometrien er god. Det er ønskelig med god satellittgeometri for at feil i observasjoner i mindre grad vil forplante seg. PDOP < 4,0 er god nøyaktighet på satellittposisjonene. PDOP 4,0-8,0 er en akseptabel posisjonsnøyaktighet. PDOP > 8,0 er dårlig nøyaktighet på posisjonene (Kartverket, 2009, s.16). I våre målinger har PDOP-verdien vært tilfredsstillende.

Atmosfæriske forstyrrelser er noe vi også har tatt hensyn til i de statiske målingene. Satellitters plassering på himmelen påvirkes av ionosfæren, og da særlig satellitter som står nærmere horisonten. Kartverket anbefaler derfor en «cut-off angle» på 10-15 grader (Kartverket, 2009, s.16). 10 grader er standardinnstilling i Leica Infinity og vi lot «cut-off angle» stå på dette. «Cut-off angle» kan endres i ettertid når dataene behandles i Leica Infinity. Dette gjør at satellitter med en høydevinkel lavere enn 10 grader ikke blir tatt med i beregningene.

Vi har også forsøkt å ta hensyn til flerveisinterferens. Det innebærer å begrense muligheten for at antennen mottar signaler som reflekteres fra bygninger og gjenstander i nærheten. Dette kan gjøre at det ikke registreres rette avstander mellom antenne og satellitter (Kartverket,



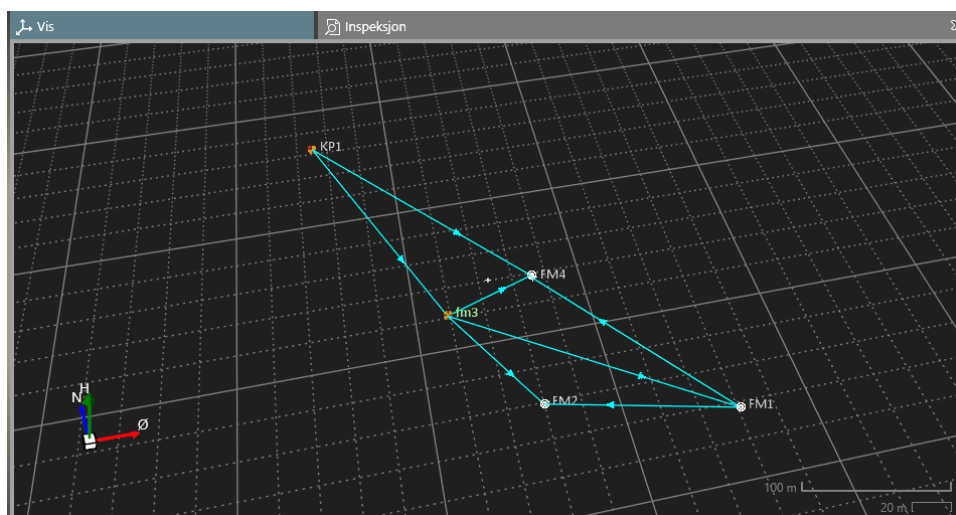
Figur 3: B33T0688

2009, s. 17). Det er tett bebyggelse rundt hallen. For å få sikt til nok fastmerker fra planlagte frioppstillinger ble FM2 liggende tett opptil bebyggelse.

Kartverket (2009, s. 26) anbefaler en måletid på mellom 30-60 minutter når man måler klassisk statisk ved avstander opp til 10 km. Vi har derfor målt i minimum 30 minutter i hvert punkt. Vektormålingene vi utførte har hatt en varighet på mellom 31-84 minutter.

Hele Bergenhus Festning er vernet, og det kreves derfor søknader for å gjøre permanente markeringer. Dersom vi skulle slått ned en asfaltspiker kunne det fort tatt noen uker før vi fikk tillatelser på plass. Vi valgte derfor å benytte oss av naturlige og lett gjenkjennelige punkter i terrenget hvor vi etablerte fastmerkene. Disse naturlige punktene var alt fra spisse ender på en større stein til punkt på en del av et kumlokk som ikke lot bevege på seg.

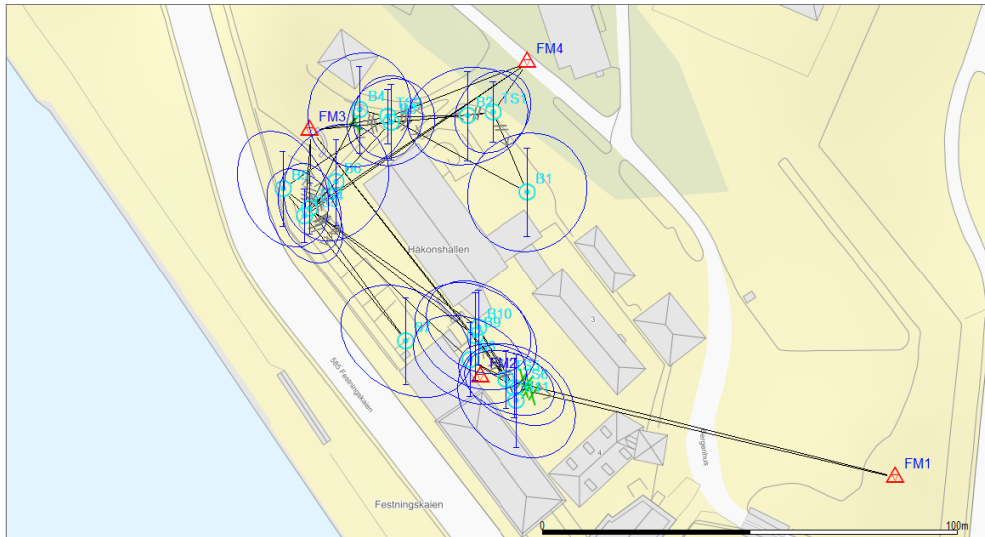
Dataene ble importert til Leica Infinity og prosessert. Da alle punktene var beregnet eksporterte vi koordinatene til Gemini oppmåling og til totalstasjonen for videre bruk.



Figur 4: Utsnitt fra underveisprosessering i Leica Infinity

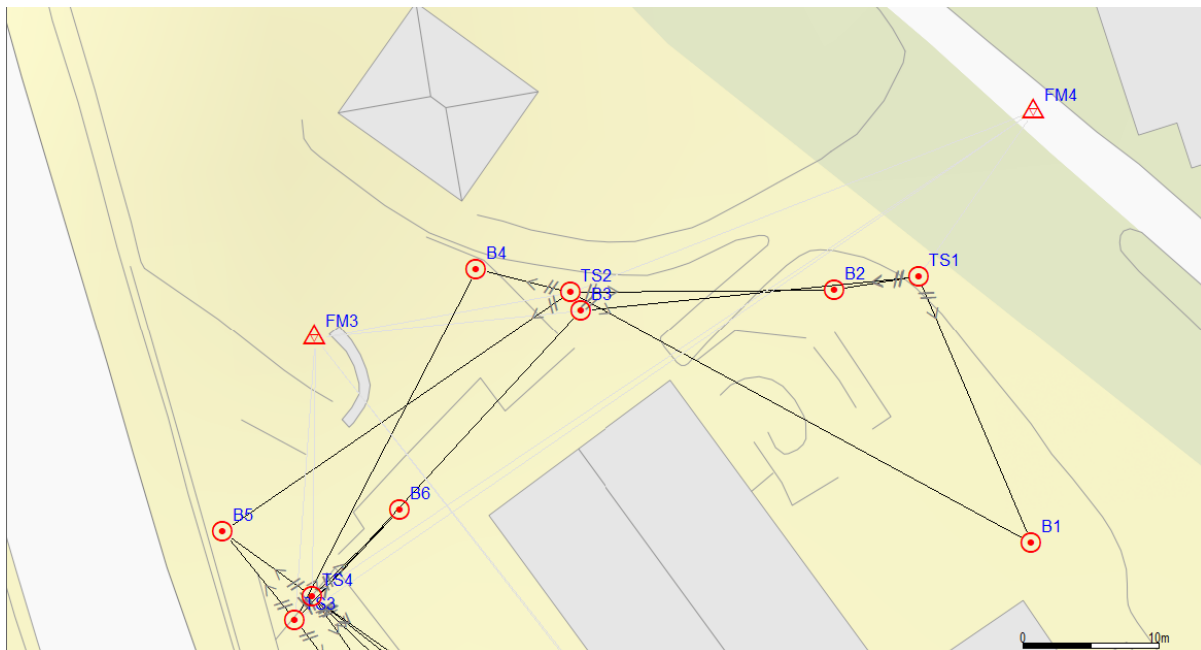
### 5.1.2 Innmåling av blinker med totalstasjon

Etter at FM1-FM4 ble etablert med statisk, brukte vi punktene som fastmerker for å måle inn blinkene. Blinkene ble målt inn for å kunne georeferere punktskyen, og ble målt inn fra minst to frioppstillinger. Frioppstillingene ble opprettet ved å måle til minst to av de etablerte fastmerkene (FM1-FM4). Målingene til blinkene ble loggført underveis slik at vi var sikre på at alle blinkene ble målt inn minimum to ganger. Instrumenthøyde ble også loggført.



Figur 5: Utjevning etter grovfeilsøk

Videre behandlet vi koordinatene i Gemini Oppmåling. Her ble det gjort en samlet utjevning i 3D. Det ble så utført grovfeilsøk før det ble foretatt en endelig utjevning, og godkjenning av punktene. Da vi utførte grovfeilsøk utelot vi tre målingsverdier med faktor over 1. Når beregnet t-verdi overstiger tabellverdien, får vi en faktor over 1, og dette signaliserer at vi har en grov feil som må utelates fra beregningene. Da alle t-verdiene var under tabellverdi på 3,50 sa vi oss fornøyde med dette. Se vedlegg 11.1.2.1 for grovfeilrapport og vedlegg 11.1.2.2 for endelig utjevningsrapport.



Figur 6: Utsnitt av målte blinker, totalstasjonsoppstillinger og fastmerker

### 5.1.3 Terrestrisk laserskanning

Vi hadde satt av en periode på to uker hvor skanningen måtte fullføres. Det ble satt av såpass mye tid fra vår side ettersom laserskanning utendørs krever godt vær. Nedbør fører til forstyrrelser og støy i punktskyen. Med to uker til rådighet regnet vi med å ha god margin dersom det skulle bli dager hvor det regnet. Den andre uken regnet det hver dag. Denne uken ble derfor brukt til å fullføre skanningen innendørs.

En annen grunn til å sette av såpass mye tid er at Håkonshallen befinner seg på en militær festning hvor det er mange instanser å forholde seg til. Dette gjorde at planlegging og god kommunikasjon med de ulike instansene var viktig. Vi hadde for eksempel ulike kontaktpersoner når vi målte utendørs og når vi målte innendørs. Dette løste seg bra ved at vi hadde god kontakt med de ansvarlige for Håkonshallen og Bergenhus Festning, slik at det ikke ble noen misforståelser.

Håkonshallen ble laserskannet fra innsiden og utsiden. Dette var en tidkrevende prosess hvor det ble samlet inn store mengder med data. Laserskanningen ble i hovedsak delt inn i tre: Utsiden av Håkonshallen, festsalen og trappeoppgangen.



*Figur 7: Håkonshallen sett fra utsiden, festsalen og i trappeoppgangen.*

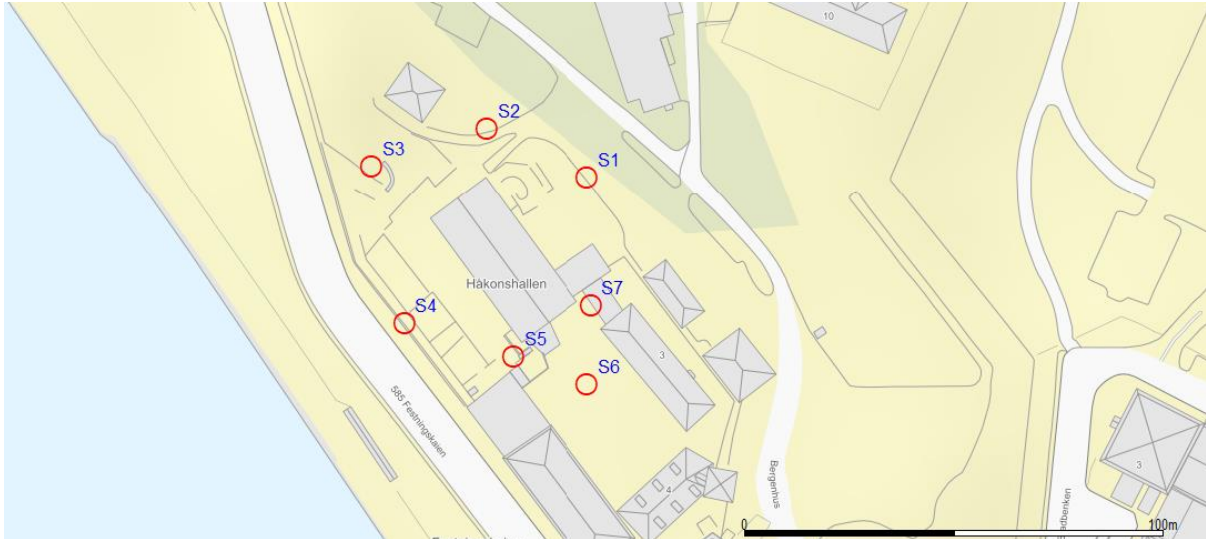
Utendørs hadde vi syv skanneoppstillinger. I hvert skann ble den samme prosedyren fulgt, som ble utført på følgende måte:

1. Grovskann med lav kvalitet i skannerens totale arbeidsområde (360° horisontalt og 270° vertikalt)
2. Innmåling og registrering av blinker
3. Finskanne begrenset til Håkonshallen og nærliggende ruiner

Innvendig i festsalen hadde vi fire oppstillinger. I trappeoppgangen hadde vi syv oppstillinger grunnet vanskelig geometri og lite arbeidsområde. Gangen i prosedyren innendørs var her litt annerledes enn utendørs. De to første punktene er like, men da vi skulle finskanne, ble ikke skanneområdet avgrenset:



1. Grovskann med lav kvalitet i skannerens totale arbeidsområde (360° horisontalt og 270° vertikalt)
2. Innmåling og registrering av blinker
3. Finskann med høy kvalitet i skannerens totale arbeidsområde (360° horisontalt og 270° vertikalt)



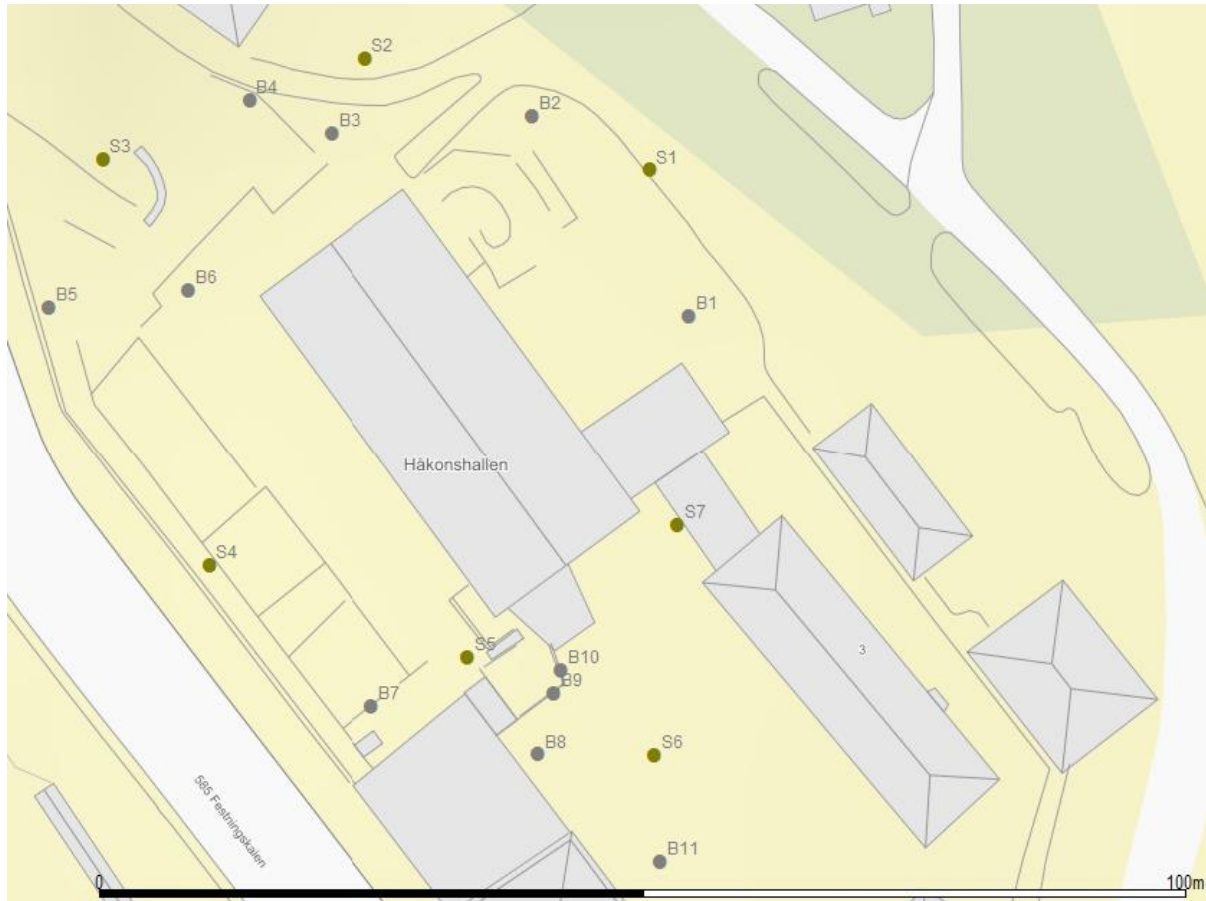
Figur 8: Utvendige laserskannoppstillinger rundt Håkonshallen.

## Utendørs

Figur 8 illustrerer fremgangen i skannene utendørs. En utfordring var å sørge for at man fikk nok felles blinker mellom de ulike skanneoppstillingene. For å kunne koble sammen de ulike skanneoppstillingene må man ha felles referansepunkt. Dette er blinkenes funksjon. Når vi har kompensatoren på, må det minimum være to blinker som er felles mellom de to punktstyene. Likevel er det greit å ha overflødig med blinker for å øke nøyaktigheten til registreringsparameterne. Da vi hadde tre blinker tilgjengelig, krevde dette at vi var påpasselige med plasseringen av blinkene slik at de også kunne brukes i det påfølgende skannet. Håkonshallen og de nærliggende bygningenes utforming gjorde at vi ble nødt til å ha totalt elleve blinker. Dette løste vi ved å flytte blinker mellom allerede utplasserte stativer etter hvert som vi beveget oss rundt bygget. Fremgangsmåten er noe ressurskrevende og kunne vært forenklet, og geometrien lettere forbedret, ved å ha tilgang til flere blinker. Denne teknikken har gjort at de ulike skanneoppstillingene har ulikt antall blinker. For eksempel har S1 sikt til B1-B4, altså fire blinker, mens S5 har registrert seks blinker (B5-B10).

Å få felles blinker mellom skanneoppstillingen kan illustreres i figur 10 om man ser på S5. I S5 målte vi inn B5, B6, B7, B8, B9 og B10. Fellesblinkene mellom S5 og S4 er da B5-B7,

mens fellesblinkene mellom S5 og S6 er B8-B10. Med denne teknikken arbeidet vi oss systematisk rundt Håkonshallen fra S1-S7. Etter disse syv oppstillingene var hele hallens fasade blitt laserskannet.



Figur 9: Laserstasjoner og blinker. Brun farge (S-punkter) er stasjoner. Grå farge (B-punkter) er blinker.

### Innendørs

Inne i festsalen plasserte vi tre blinker godt separert i rommet for best mulig geometri i det horisontale planet. For å oppnå god spredning i det vertikale planet hadde vi plassert alle blinkene på stativer som var innstilt i ulike høyder. Dersom blinkene er i samme plan er det fare for at modellen kan flippes opp ned. Dette er ikke et problem utendørs siden terrenget rundt Håkonshallen er variert og kupert, som igjen gjør at blinkene blir plassert ulikt i det vertikale planet på en naturlig måte. Figur 11 illustrerer hvordan blinkene og stasjonene er plassert i festsalen. Grå farge (B-punkter) illustrerer blinker. Brun farge (S-punkter) er stasjoner.

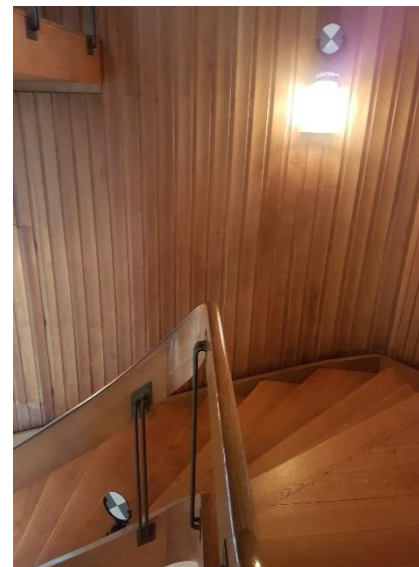




Figur 10: Illustrasjon av blinker og stasjoner i festsalen

Da vi skulle skanne trappen, startet vi utendørs. Ved å begynne utendørs fikk vi med utsiden av trappehuset. I tillegg holdt vi døren åpen slik at vi fikk registrert blinkene som var plassert innendørs. På denne måten sørget vi også for å ha felles punkt med skannene fra hallens fasade. I trappeoppgangen var ikke plasseringen av blinker i samme plan et problem da vi beveget oss oppover trappen. Trappen var smal og vi måtte være nøye med plasseringen av blinkene, slik at de overlappet til neste skann. Vi fulgte trappens naturlige spiralform fra inngangsdøren på

bakkeplan, ned i kjelleren og opp til festsalen. Trappen var sensitiv for bevegelser og vibrasjoner fra steg. Da finskannet pågikk var vi derfor påpasselig med å bevege oss minst mulig i trappen og trappeoppgangen generelt. Skanneprosessen fulgte ellers innendørsprosedyren.



Figur 11: Utvalg av blinker plassert i trappehuset

## 5.2 Prosessering og bearbeiding av data

Punktdataene ble importert til Leica Cyclone for registrering. Blinkregistreringen ble i første omgang gjort i tre ulike registreringsjobber. Først trappen, så innsiden og til sist utsiden. Da

disse tre var registrert hver for seg, ble de registrert til en felles punkttsky. Registreringen ble utført på tre ulike måter:

1. Registrering ved hjelp av felles blinker
2. Manuell registrering ved hjelp av “Multi Pick Tool” i “Cloud Constraint Wizard”
3. Oppstramming av skyene med funksjonen “Optimize Cloud Alignment”

Punkt 3 brukes gjerne når skyene allerede er registrert ved hjelp av punkt 1 og 2. Ved å bruke “Optimize Cloud Alignment” strammer man opp de allerede sammenslåtte punkttskyene ved å minimalisere avstanden dem imellom. Denne funksjonen baserer seg på felles punkter i skyene og på overlapp mellom punkttskyene. På denne måten detekterer programmet felles punkter og legger dem sammen. Man velger selv hvilke parametere som tas i bruk her. Vi endret verdiene i “Subsampling percentage” til 100 %. Denne er 3 % som default. Ved å endre verdiene til 100 % øker man kalkulasjonstiden, men man forbedrer også sluttresultatet ved å koble sammen “sky-mot-sky”. De andre verdiene lot vi stå på default.

Da det var produsert en felles punkttsky, brukte vi funksjonen “Unify Modelspace” for å effektivisere punkttskyen, slik at den er lettere å arbeide i. Denne funksjonen fjerner overflødige punkt som gjerne ligger dobbelt etter at man har registrert flere mindre skyer sammen til én punkttsky. Datamengdene er allerede store og krever mye av maskinen, så en slik funksjon forenkler arbeidsprosessen for brukeren ved å gi bedre flyt i databehandlingen.

Det ble deretter foretatt en rensking av punkttskyen for å fjerne unødvendig støy. Der det ikke var andre punkt bak støyet som skulle slettes, benyttet vi oss av «fence mode» og fjernet alt som var inngjerdet. For å få fjernet støy som ligger over en annen flate, som over gulvet inne i festsalen, ble løsningen å bruke «Point Cloud Sub-Selection»-funksjonen, og deretter «Region Grow Smooth Surface». Ved å gjøre dette fikk vi rensket punktene som lå over gulvflaten.

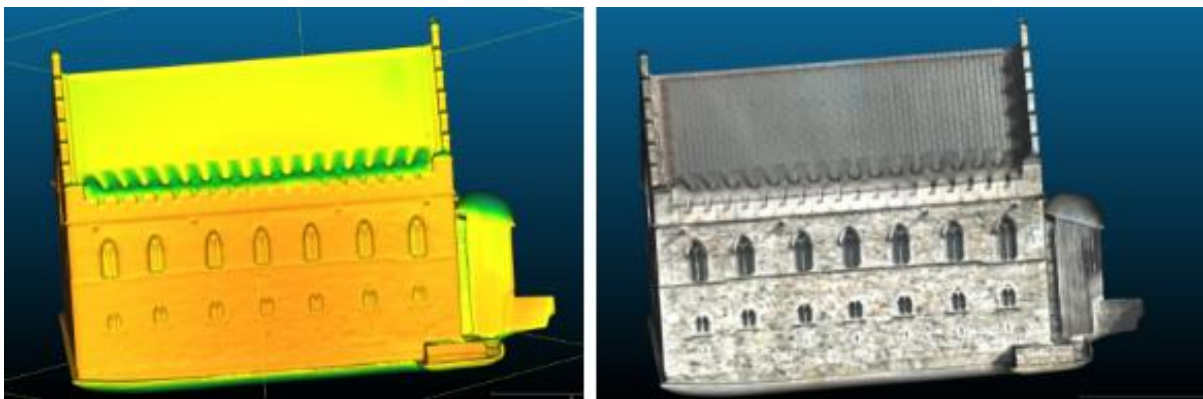
Punkttskyen ble georeferert med koordinater fra blinkene utendørs (vedlegg 11.1.3.5).

### 5.3 3D-modell

Etter at punkttskyene var registrert i Leica Cyclone, satt vi igjen med en fullverdig 3D-modell. Modellen man får etter bearbeidelsen i Leica Cyclone består av mange millioner punkt, og er som regel alt for stor til å være aktuell for formidling via en webløsning. Derfor trenger man å kutte ned på datamengden.

For at datamaskinene skulle klare å håndtere datamengdene, ble lasermålingene fra innsiden av trappeoppgangen og innsiden av hallen utelatt. Deretter ble modellen eksportert fra Cyclone som en .pts-fil for å få det inn i CloudCompare.

For å kunne bruke Poisson-triangulering til å korte ned på datamengden, er man avhengig av at modellen inneholder normaler. For å få normaler ble “local surface model” satt til “quadric” under normals-funksjonen i CloudCompare. Videre ble “PoissonRecon”-funksjonen benyttet for å få trianguleringer. Ved Poisson-trianguleringer er det mulig å velge hvor detaljert modellen skal være ved å velge å dybde. Etter litt testing havnet vårt valg på en dybde på 9.



*Figur 12: Her vises meshet med og uten teksturering i CloudCompare, og med en dybde på 9.*

På figur 12 ser man resultatet av mesh-trianguleringen, med og uten teksturering.

Utbulingene man ser på oppsiden trappeoppgangen og lavt ved taket kommer som en følge av at det ikke finnes mange punkt der laserskanningene ikke har nådd frem. Disse utbulingene hadde vært mindre om dybden på Poisson-trianguleringen var høyere, men det fører også til betydelig mer datamengde.

For å forminske utbulingene ble modellen først eksportert i .fpx-format, og deretter importert i modelleringsprogrammet Cinema 4D. Ved hjelp av funksjonene i programmet ble utbulingene redigert til et akseptabelt nivå.

## 5.4 VR

Det finnes mange løsninger for å bruke virtuell virkelighet. Vi har hatt som formål å gjøre dette så enkelt og så billig som mulig. Det vil si minimalt med utstyr og programvare. Dette har vi løst ved å bruke en åpen kildekode. Gratisprogrammet vi har benyttet oss av er Google

Street View-applikasjonen. Appen har et godt brukergrensesnitt og er tilgjengelig for alle med en smarttelefon. Applikasjonen har en innbygget funksjon som former panoramabildet for fotografen, og som deretter kan vises i VR. Som fotograf står man i ro på samme sted og tar flere bilder som settes sammen til et panoramisk 3D-bilde. På denne måten dannes en sfære av bilder rundt fotografens ståsted. Panoramabildet dekker 360° horisontalt og 290° vertikalt.

I tillegg til VR-fremvisning ved hjelp av bilder, var formålet å kunne danne en VR-løsning der lasermålingene ble brukt. Dette ble gjort ved å eksportere 3D-modellen fra Cinema 4D til en .fbx-fil. Det er et format som kan lastes opp på Sketchfab, som er en webapplikasjon hvor modellen kan vises både i 3D og i VR.

## 5.5 Programvare

### **Leica Infinity**

Leica Infinity er en programvare egnet for landmålere. I programmet kan ulike data - både BIM, CAD, GIS og mer - føres sammen i ett feltprosjekt, og programmet kan hente ut og eksportere disse datatypene sømløst.

I Leica Infinty kan all import, visualisering og databehandling utføres i 3D-visningsprogrammet, og man kan utarbeide infrastrukturdata og måledata, inkludert kontrollpunkter, veier og overflater. Videre er det mulig med fulle 3D-, 2D- og 1D-nettverksjusteringer for å generere kontrollkoordinater. I programmet er det også muligheter for å jobbe med skannepunktdata, samt utarbeide rapporter (Leica Geosystems, u.å.).

### **Gemini Oppmåling**

Gemini Oppmåling er et program laget av Powel som skal håndtere de fleste typer landmålingsberegninger. Programmet gir mulighet til å lese data på flere ulike formater fra utstyr og bakgrunnskart, og kan beregne data som er hentet inn med både eldre og nyere landmålingsutstyr, digitale niveller og satellittmålinger. Dataen som blir samlet inn kan bli brukt i programmet slik at man får en nøyaktig stadfesting av punkter. Brukergrensesnittet er forholdsvis enkel, og er grafisk med liste-, kart- og prosjektdatavindu. Full integrasjon mellom disse vinduene gjør at når ett objekt velges i det ene vinduet, vil tilhørende informasjon om det samme objektet i de andre vinduene markeres av seg selv (Powel, 2016).

## **Leica Cyclone**

Leica Cyclone er et software-program designet for prosessering av punktskyer og bearbeiding av data fra laserskanning. Programmet inneholder en rekke software-moduler som sørger for muligheten til bred bruk. Cyclone legger til rette for sammenslåing av punktskyer både med og uten blinker. Videre er det muligheter for editering av punktskyer, generering av mesh, punktrensing, avansert "bilde til skanning"-teksturering, samt beregninger av volum, områder og klareringer (Leica Geosystems, u.å.).

## **CloudCompare**

CloudCompare var i utgangspunktet et verktøy for å sammenligne 3D-punktskyer, men har senere blitt et open source-program med grunnleggende verktøy som gjør det mulig med manuell redigering og gjengivelse av 3D-punktskyer. Algoritmer i programmet gjør det mulig å bruke det til blant annet registrering, utjevning, gradientevaluering og fargegjengivelse, og dermed visualisere punktskydata (CSC, u.å.).

## **Google Street View**

Google Street View er en applikasjon hvor det er mulig å presentere panoramabilder. Applikasjonen er utviklet av Google. Bildene kan være lastet opp av Google eller av eksterne privatpersoner. Bildene gir brukeren en virtuell fremstilling av ulike steder i hele verden (Google, u.å.).

## **Sketchfab**

Sketchfab er en webapplikasjon hvor brukeren kan laste opp, laste ned, presentere og eventuelt selge 3D-modellene sine. Applikasjonen er ofte brukt av privatpersoner eller firmaer som arbeider med 3D-modellering og animasjon, men er også tilgjengelig for allmenn bruk. Det er i utgangspunktet en gratis applikasjon med maksimal filstørrelse for opplasting på 50mb, hvor man har muligheter for å klikke seg rundt og se på andres modeller, eller eventuelt laste opp eget arbeid. Velger man derimot å betale for bruken av applikasjonen, økes denne grensen til 500mb. Applikasjonen fungerer på alle operativsystem, nettlesere og enheter, og man har i tillegg mulighet for interaksjon med VR og AR. Siden kan kategoriseres som brukervennlig og relativt enkel å jobbe med (Sketchfab, u.å.).

## **Cinema 4D**

Cinema 4D er et software-program utviklet av MAXON Computer, som i all hovedsak brukes til animasjon og modellering i 3D. Programmet er ledende innenfor sitt felt ettersom de har store samarbeidspartnere som blant annet Apple Inc. som fører til at de får konstant tilgang på den nyeste teknologien, og kan utvikle programvaren sin deretter. Programmet er relativt dyrt, og kommer i fire forskjellige typer, alt tilpasset egen bruk. Dette er Studio, Broadcast, Visualize og Prime. Vi har benyttet oss av Cinema 4D Studio. I tillegg har programmet spesialtilpassede utgaver til blant annet arkitekter og ingeniører som kan kjøpes utenom (Graphisoft, u.å).

## 6 Resultat

### 6.1 3D-modell

Leica P20 kan, i tillegg til å laserskanne, ta bilder. Vosselman og Maas (2010, s. 271) skriver at fotografier spiller en viktig rolle på kulturminnefeltet, da man kan utfylle punktskyer med bilder eller videoer for å teksturere de endelige modellene. Ved å kombinere de to innebygde funksjonene til Leica P20 kan man produsere 3D-modeller som er mer virkelighetsnære enn om man bruker dem separat.



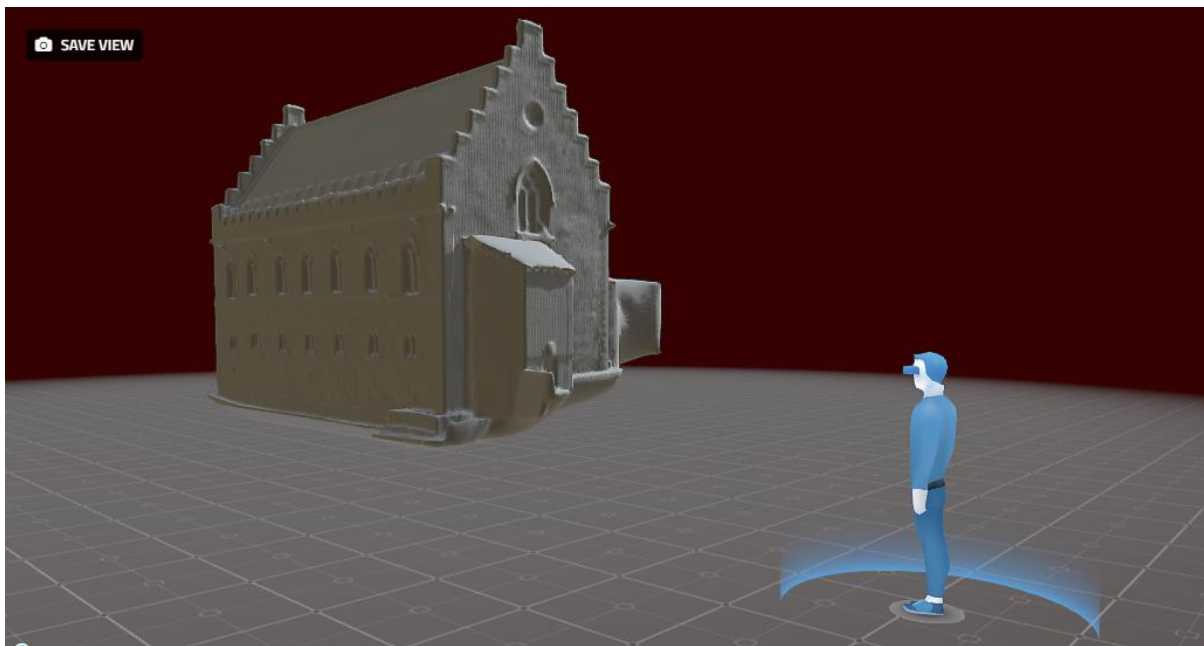
*Figur 13: 3D-modell vist i CloudCompare*

Figur 13 viser hvordan 3D-modellen ser ut etter den er eksportert fra Leica Cyclone og importert i CloudCompare. I CloudCompare er det blitt laget en gjennomflygningsvideo (vedlegg 11.2.1.4).



*Figur 14: 3D-modellen vi sitter igjen med etter å ha arbeidet i Leica Cyclone, CloudCompare og Cinema 4D. I modellen finnes 1 100 000 triangler og 562 000 vertexer. Se vedlegg 11.2.1.5 for video av modellen*





*Figur 15: 3D-modellen i Sketchfab. Når man benytter seg av VR-funksjonen får man point-of-view fra menneskefigurens perspektiv og beveger seg rundt i omgivelsene i det forholdet som figuren viser.*

Nettsiden og mobilapplikasjonen til Sketchfab er tilgjengelig for alle, og gjør at man kan bevege seg rundt bygget i både 3D og med VR. I Sketchfab kan man gratis laste opp filer på inntil 50 MB. Modellen av Håkonshallen er en .fbx-fil på 28 MB.

Ved å produsere en 3D-modell som et mesh, har man også mulighet til å lage en 3D-printet kopi av Håkonshallen.

## 6.2 VR

VR-resultatet har vist lovende takter. Med tanke på at VR-fremstillingen skulle være så enkel og brukervennlig som mulig gav Google Street View gode resultater. Google Street View viser gode tendenser til bruk for å dokumentere kulturminner ved å tilby en løsning hvor brukere av applikasjonen selv kan laste opp data ved hjelp av mobil.

Ved hjelp av billige VR-briller, kombinert med Google Street View, er det mulig å se en 360°-fremstilling av kulturminnet. Figur 16 og figur 17 viser hvordan resultatet er før man setter mobilen inn i de egnede VR-brillene man trenger for å få en VR-fremvisning.



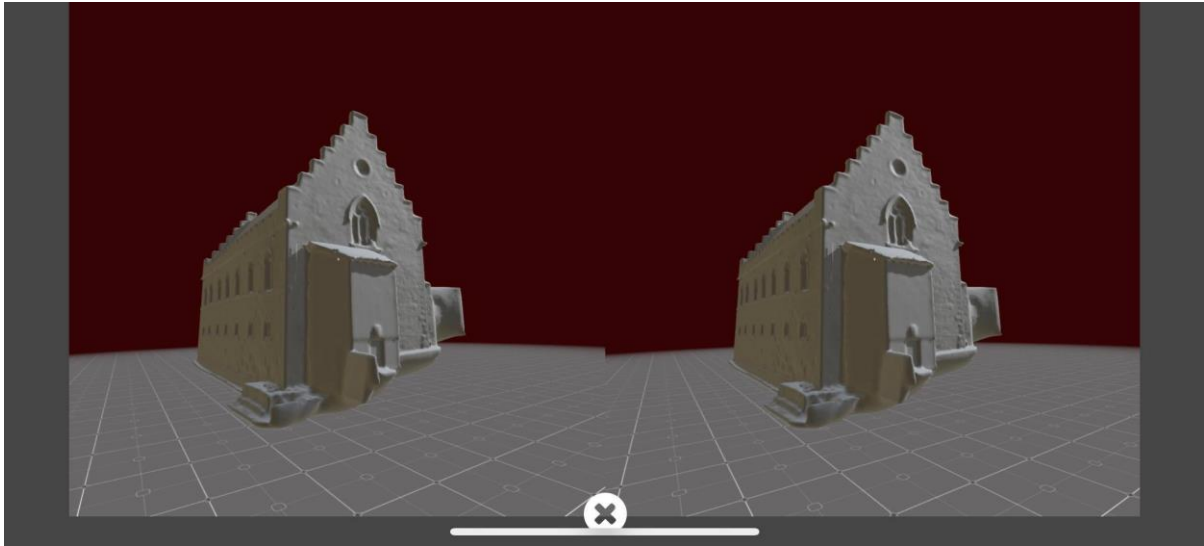


*Figur 16: VR-fremvisning i Google Street View fra festsalen*



*Figur 17: VR-fremvisning i Google Street View sett fra utsiden av hallen*

Resultatet fra Sketchfab kan ses ved å gå inn på [www.sketchfab.com](http://www.sketchfab.com) på datamaskin eller via Sketchfab-applikasjonen på smarttelefon, og søke på «Håkonshallen» under brukernavn ChAannoe. Stillbilder av VR-opplevelsen kan ses i figur 18 og figur 19.



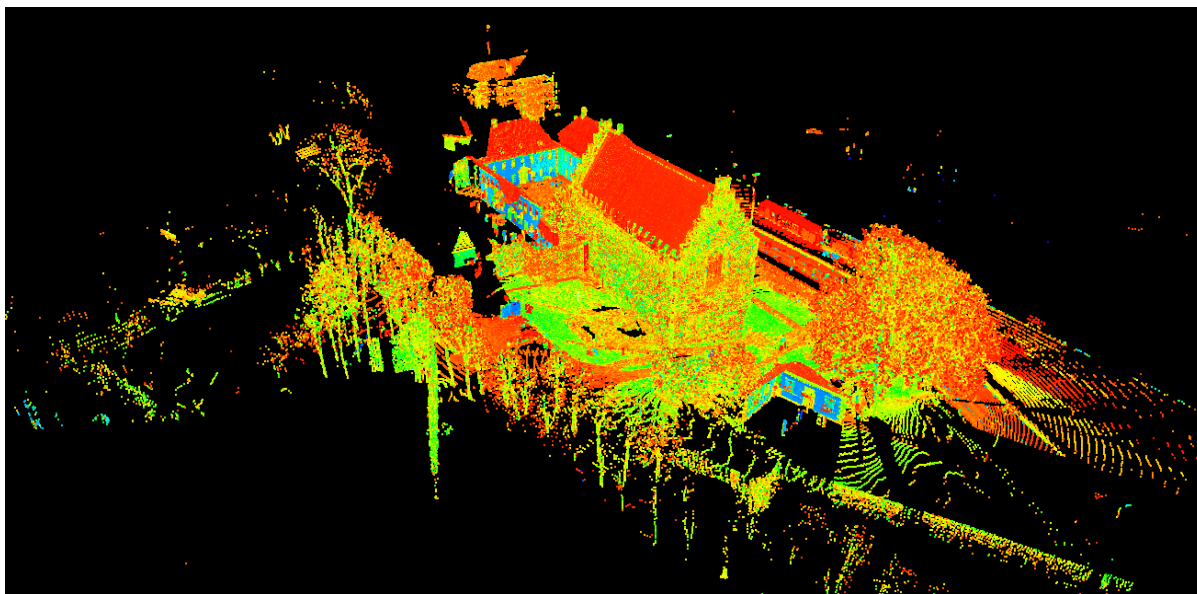
*Figur 18: VR i Sketchfab sett fra borggården*



*Figur 19: VR i Sketchfab fra langsiden*

## 6.3 Registrering

### 6.3.1 Registrering av punktsky fra utsiden



Figur 20: Utsiden ferdig registrert med intensitetsverdier. Intensitetsverdier indikerer hvor mye av lyspulsene som blir reflektert tilbake fra objektet



Figur 21: Utsiden ferdig registrert her i gråskala

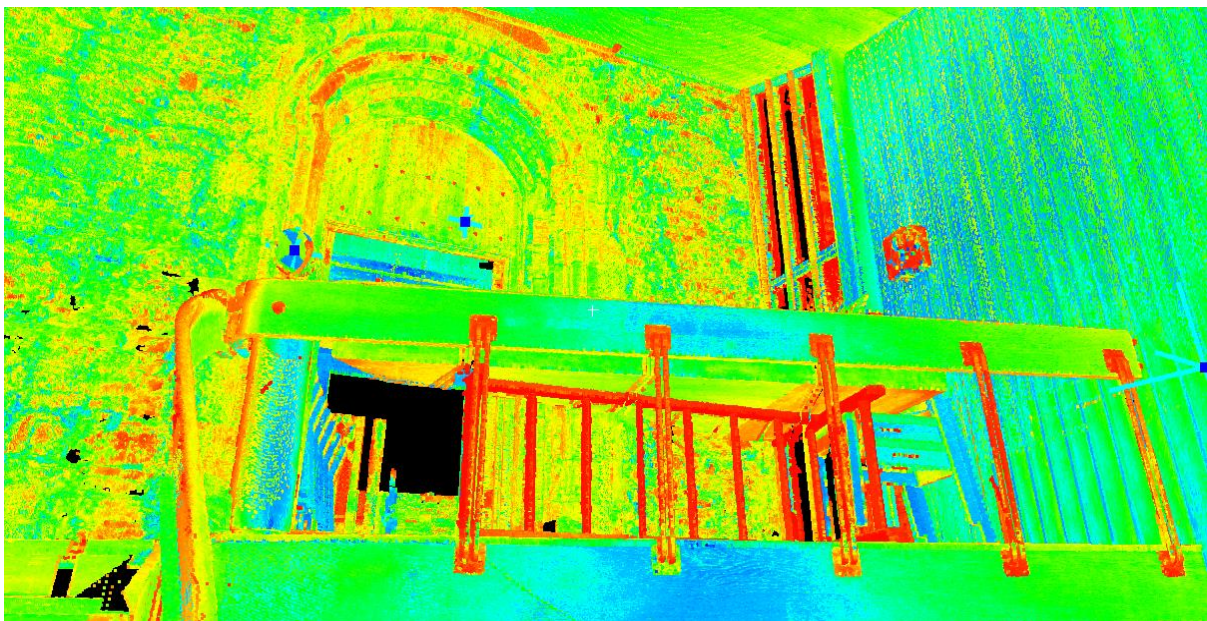
Figur 20 og figur 21 viser punktskyen etter registrering utendørs. Her er det flere rapporter i vedlegget siden punktskyen delvis måtte registreres manuelt. I disse «underveisregistreringene» varierte RMS-verdiene fra 5 til 8 millimeter (vedlegg 11.1.3.1). RMS-verdier forteller oss om feil i samregistreringen av punktskyene. Ifølge Leica Cyclones manual er resultat under 10 millimeter akseptabelt.



### 6.3.2 Registrering av punktsky fra trappeoppgangen



Figur 22: Innsiden av trappeoppgangen etter registrering i Cyclone. Her fremvist med tekstur dannet ved hjelp av Leica P20s eget kamera.

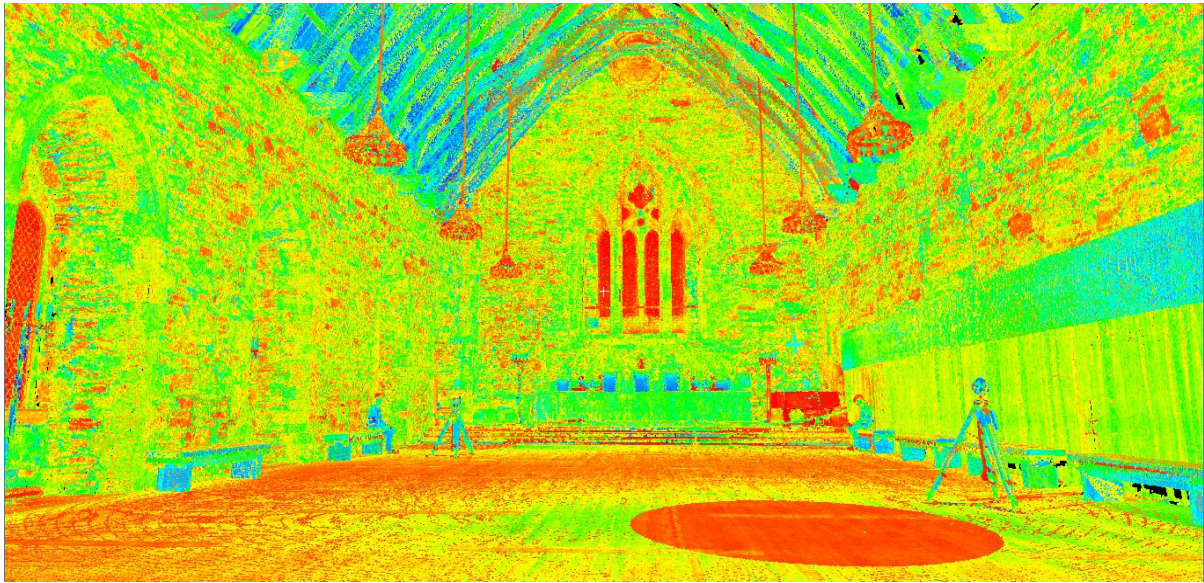


Figur 23: Utsnitt trappeoppgangen ferdig registrert

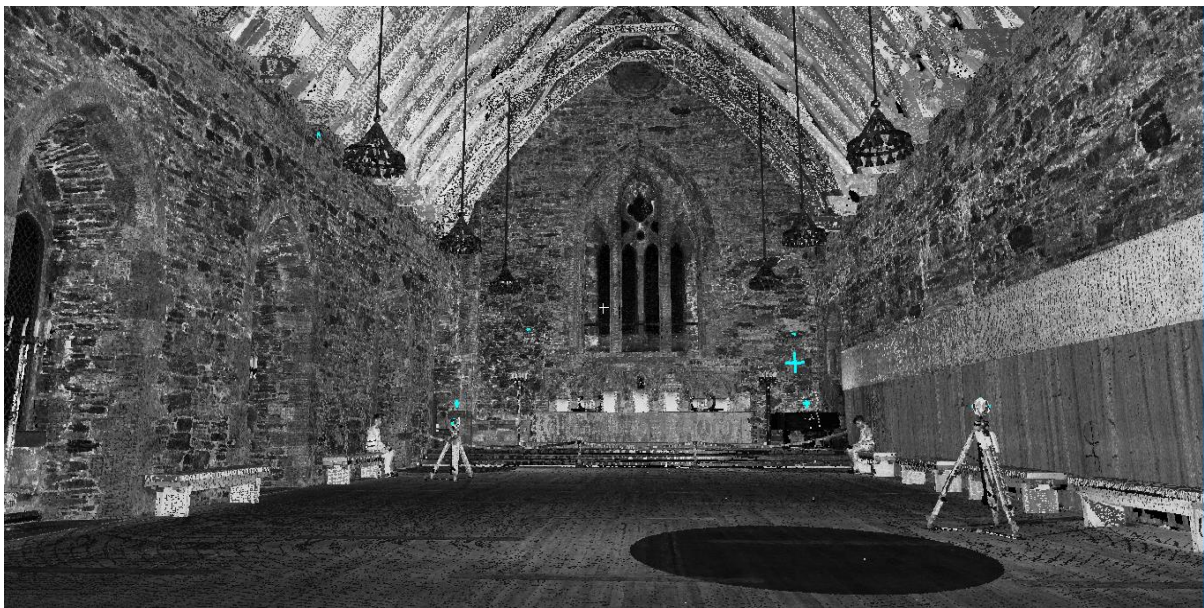
I figur 22 og 23 kan vi se den ferdige registreringen av punktskyen fra trappeoppgangen. Resultatet viser en RMS-verdi på 8 millimeter (vedlegg 11.1.3.3).



### 6.3.3 Registrering av punktsky fra festsalen



Figur 24: Festsalen ferdig registrert fremvist med intensitetsverdier

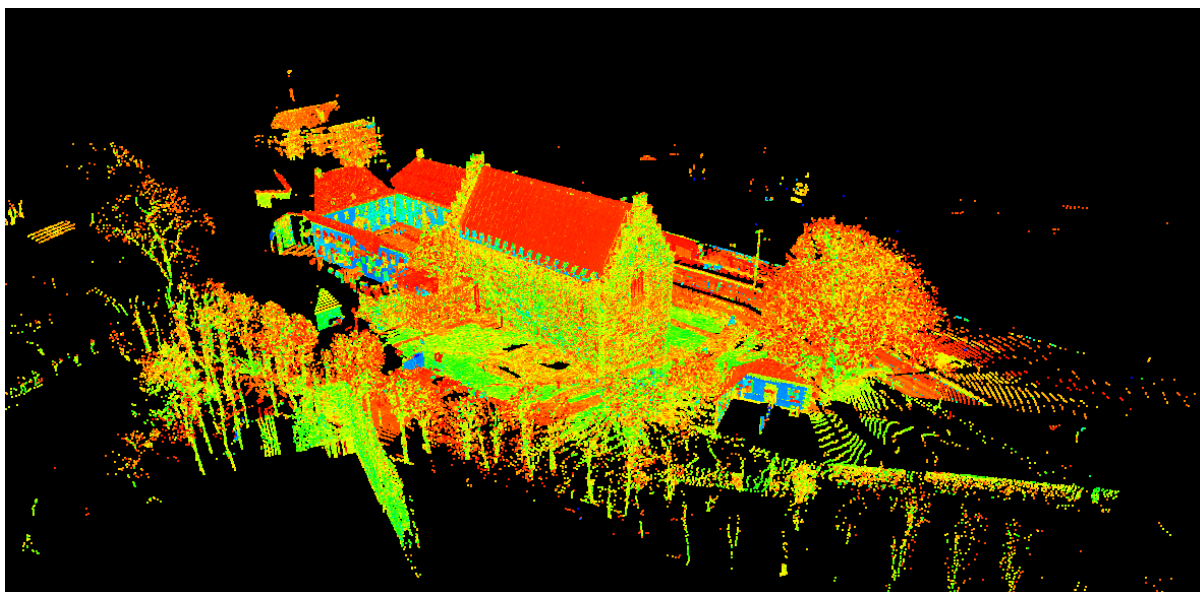


Figur 25: Festsalen ferdig registrert i gråskala

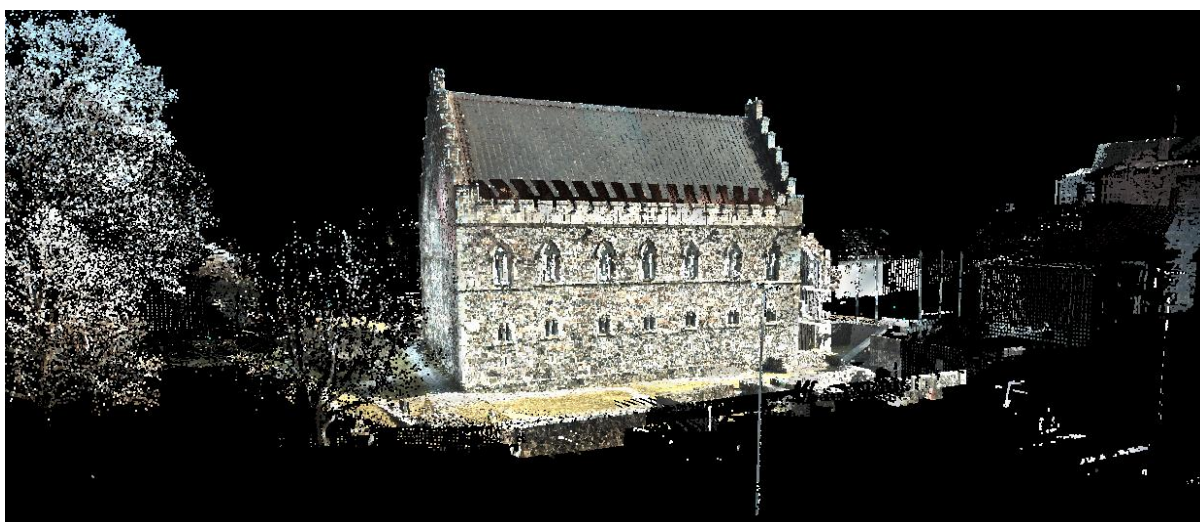
Den ferdige registreringen av punktskyen fra festsalen er illustrert i figur 24 og figur 25. RMS-verdien viser 10 mm (vedlegg 11.1.3.2).



#### 6.3.4 Sammenslått punkttsky



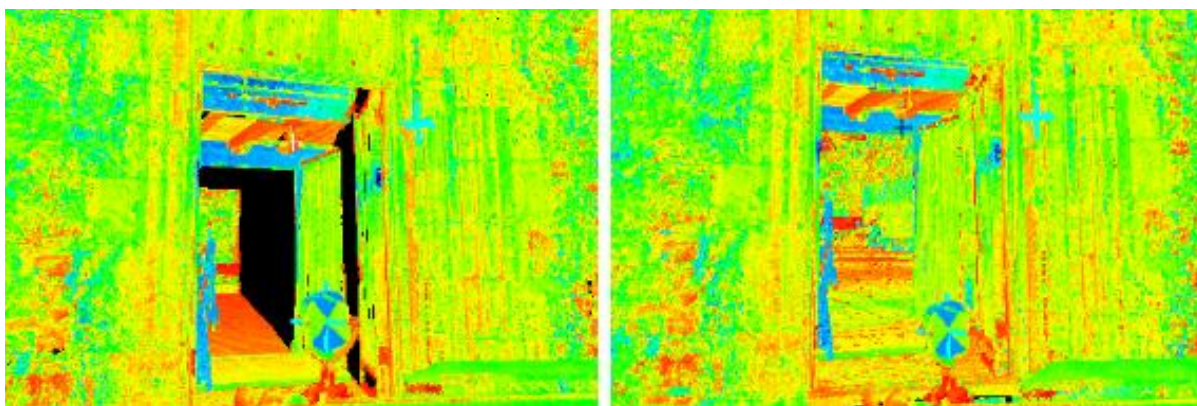
*Figur 26: Utsiden, trappeoppgangen og festsalen slått sammen til en felles punkttsky*



*Figur 27: Sammenslått punkttsky illustrert med Leica P20s integrerte kamera*

Rapporten fra registreringen av trappeoppgangen og ute viser en RMS-verdi 9mm, mens rapporten mellom trappeoppgangen og festsalen ga en RMS-verdi på 8mm (vedlegg 11.1.3.4).

Det er blitt produsert en felles punkttsky på bakgrunn av tre de punkttskyene man kan se i figur 20, 23 og 24. En ferdig rensket versjon av denne felles punkttskyen gir det resultatet man ser i figur 13 og i gjennomflygningsvideoen (vedlegg 11.2.1.4).



Figur 28: Til venstre ser man før trapp, festsal og utsiden var sammenslått. Til høyre ser man at det svarte "tomrommet" er utfyllt. Dette er den endelig registrerte punktskyen som er blitt én sammenslått punktsky bestående av trapp, festsal og utside.

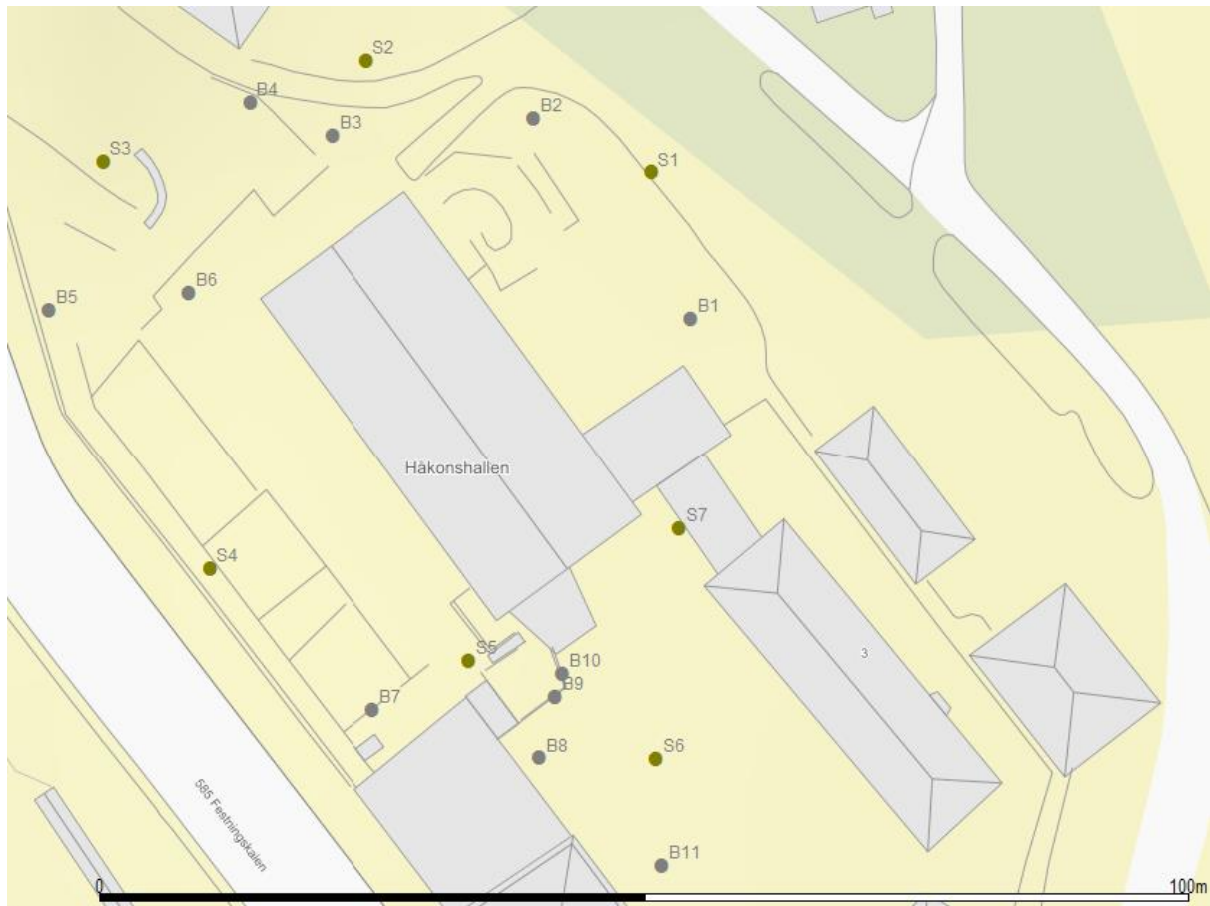
#### 6.4 Fastmerker og innmålte blinker



Figur 29: FM1-FM4 og stamnettunktet B33T0688

Rapportene fra Leica Infinity viste at de etablerte fastmerkene gav et akseptabelt standardavvik (vedlegg 11.1.1). Leica Norge anbefaler at standardavvikene multipliseres med

10 som følge av at standardavvikene fra Leica Infinity ofte er lave. For eksempel er standardavviket på X, Y og Z i FM3 på henholdsvis 0,0003, 0,0001 og 0,0006. Etter at man multipliserer dette med 10, ender man opp med et standardavvik på 3 mm i X, 1 mm i Y og 6 mm i Z.



Figur 30: Stasjoner og blinker fra utendørsskannet

I vedlegg 11.1.2.2 kan man se den endelige utjevningen av blinker og Leica P20s oppstillinger fra utendørsskannet. Resultatet viser et avvik på 1-3 cm på blinkene etter de er målt inn med totalstasjon.

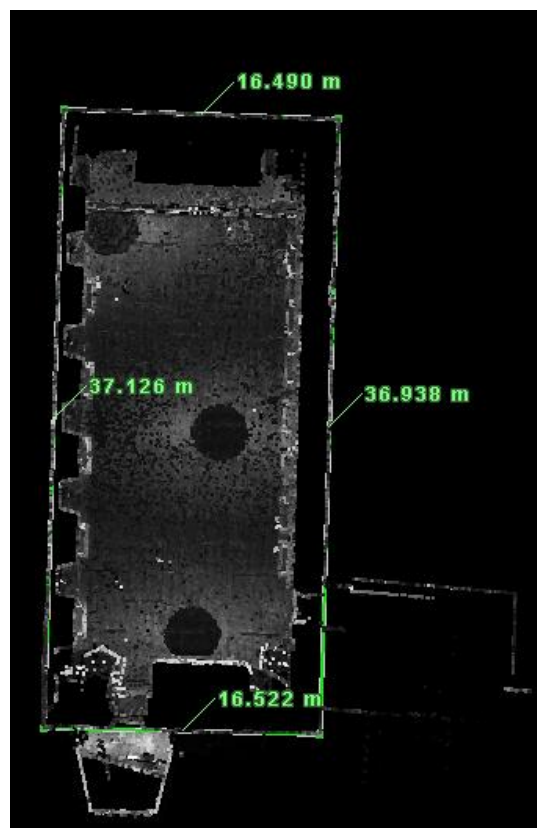


## 7 Analyse

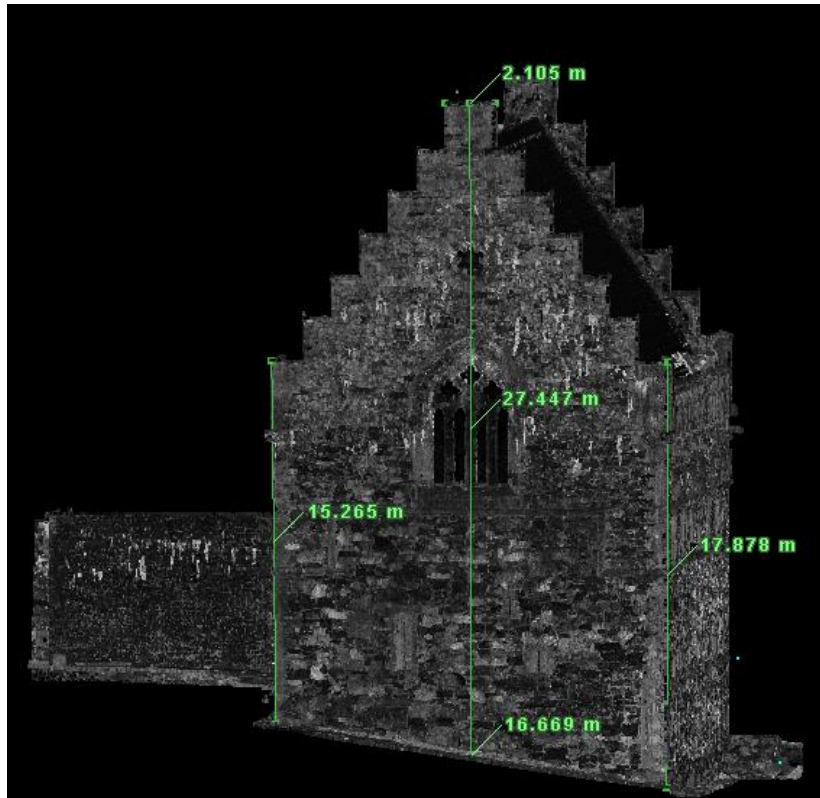
### 7.1 Dimensjonskontroll

Som vi kan se av figur 31 og figur 32, er det mulig å finne bredde og lengde på det man vil så lenge det finnes punkt dannet av lasermålingene. Dette er informasjon som kan brukes til rekonstruksjon eller restaurering, uten at man trenger å foreta manuelle målinger på hvert enkelt objekt. Hvis man lurer på hvordan bygget var, og hvordan det var konstruert, kan man se på skannet og foreta nøyaktige målinger.

Man kan altså foreta laserskanninger av et objekt, for så å hente ut mye av dataene og dimensjonene man trenger for å restaurere om det senere skulle bli ødelagt eller slitt. I bevaringssammenheng kan dette være en effektiv teknikk, da man lagrer punktskyer for så å hente ut den informasjonen man trenger i ettertid. I et tidsperspektiv kan dette være alt fra dagen etter foretatt skanning til flere år frem i tid. Et aktuelt eksempel på dette er brannen i Notre-Dame. Her ser man nå på muligheten til gjenoppbygging av kirken ved hjelp av laserskanninger foretatt av Andrew Tallon (Lou og Griggs, 2019). Gustavsen (2009, s. 15) skriver også at laserskanning er en godt egnet teknikk for å sikkerhetskopiere bygninger og masser. Skal man dog være sikre på å kunne gjennomføre en autentisk restaurering, bør man ha kunnskap om hvilket bygningsmateriale som er brukt, samt ha tilgang til fotografier og annet.



Figur 31: Grunnriss fra gulvhøyde i festsalen med tilhørende avstander



Figur 32: Høyder og bredde på nordveggen

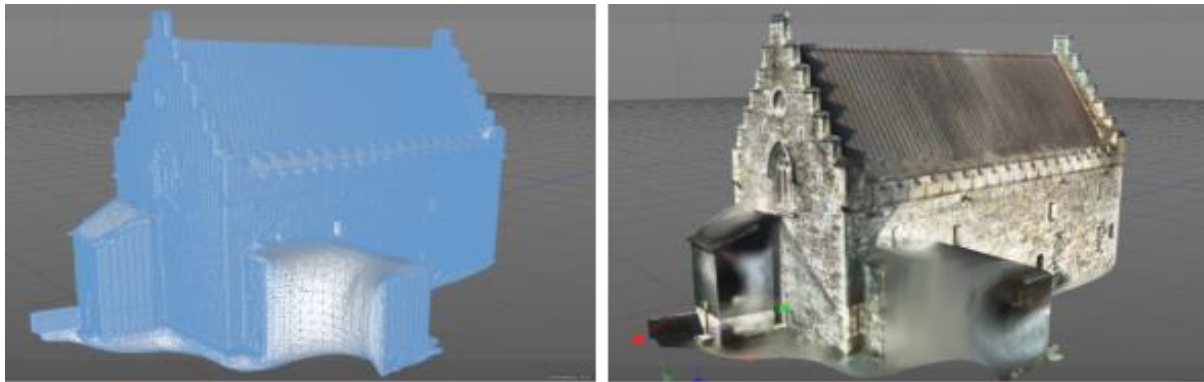
## 7.2 Punktskyen

Etter å ha slått sammen flere punktskyer til en felles sky, har de ulike registreringsmetodene vært med på å «stramme» opp skyene slik at avviket har blitt innenfor hva som er å forvente av Leica P20. Rapportene viser at registreringene har en RMS-verdi som varierer fra 5 til 10 millimeter.

Den georefererte punktskyen fikk en gjennomsnittlig samlet feil på 7 millimeter (vedlegg 11.1.3.5). Registreringen tok da utgangspunktet i den sammenslåtte punktskyen og et utvalg blinker med akseptabelt avvik.

## 7.3 3D-modell

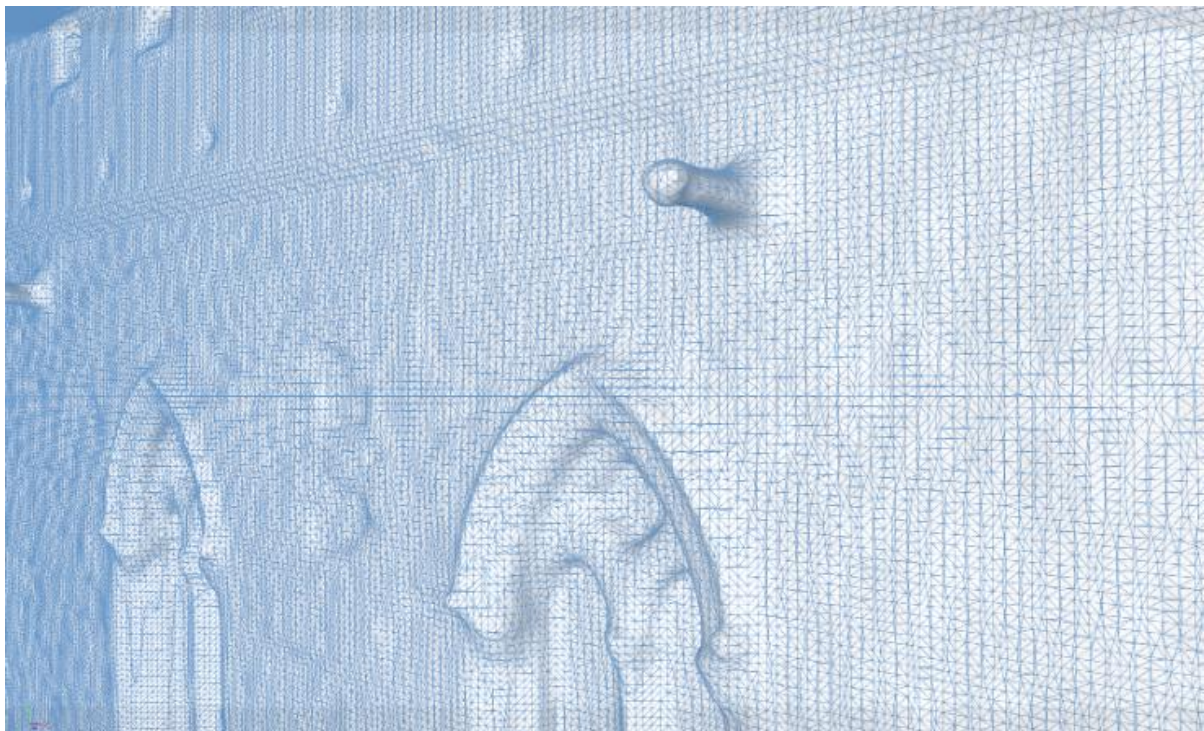
Da 3D-modellen skulle inn i en webløsning, måtte modellen som ble utarbeidet i Cyclone reduseres fra 8 gigabyte til under 50 megabyte for å få det inn i Sketchfab. Dette ble gjort med å først utelate laserskanningene fra innsiden av festsalen og trappeoppgangen. Etter å ha utelatt disse målingene, samt foretatt poissontriangulering, kunne vi eksportere en .fbx-fil fra Cinema 4D på 28 megabyte. Resultatet av modellen på 28 megabyte kan ses i figur 15.



*Figur 33: Her vises triangulering med og uten teksturering i Cinema 4D. Årsaken til at trianguleringen er svakere på enkelte områder skyldes at det er mindre punktetthet, som igjen danner grunnlaget for trianguleringsprosessen.*

Bildet til venstre i figur 33 viser trianguleringsnettets. Bildet til høyre viser trianguleringen med teksturering. Det er denne modellen, uten teksturering, som er liten nok til å lastes opp i Sketchfab.

Det er enkelte tilfeller hvor detaljnivået kunne vært høyere. Et eksempel er groteskene og trianguleringen av dem. I figur 34 ser man at grotesken er der, men detaljene forsvinner. Om man vil ha med detaljer på et slikt nivå må man øke antall triangler. Filstørrelsen øker deretter. Samtidig er dette å anse som et godt resultat da modellen er innenfor den filstørrelsen Sketchfab kan håndtere.

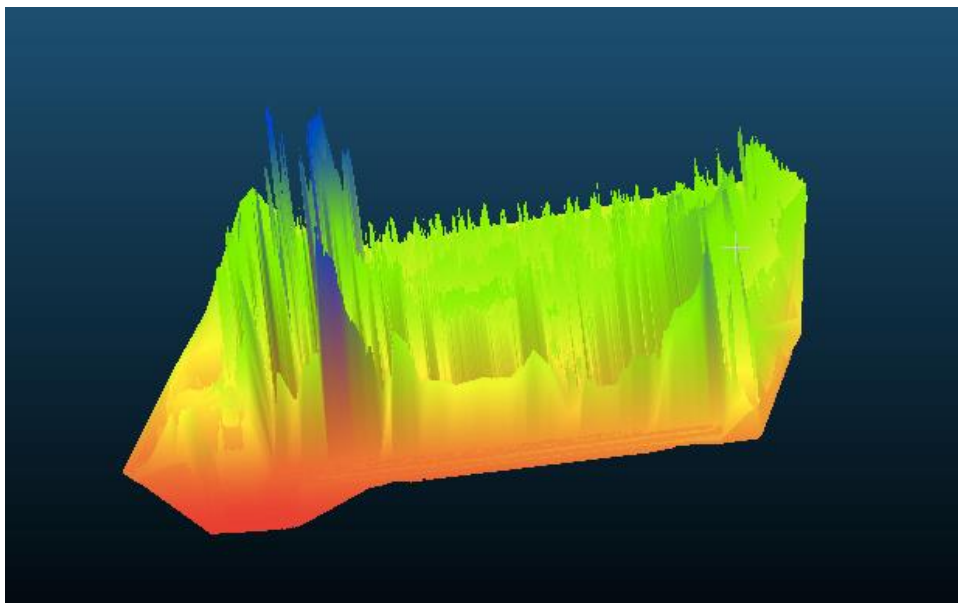


*Figur 34: Detaljnivået på trianguleringene i CloudCompare. I modellen finnes 1 100 000 triangler og 562 000 vertexer*

## 8 Drøfting

### 8.1 3D-modell

Å lage en 3D-modell av den sammenslåtte punktskyen viste seg å by på noen utfordringer. Triangulering er bedre egnet for flater enn for punktskyer med rikt detaljnivå, som hos groteskene i figur 34. Triangulering danner trekkanter mellom punkt slik at det blir en sammenhengende flate (Vosselman og Maas, 2010, s.59), og ikke en punktsky.



Figur 35: Eksempel på triangulering av den sammenslåtte punktskyen som ikke gav et godt resultat

Da vi forsøkte å triangulere den sammenslåtte punktskyen uten normaler, ble resultatet dårlig (se figur 35). Dette løste vi ved å kun benytte punktskyen fra utsiden av hallen. Ved å kun benytte punktskyen av fasaden hadde vi også en betydelig mindre mengde data å jobbe med. Dette gjorde at datamaskinen taklet datamengden bedre og greide å produsere normaler – som er nødvendig for å kunne triangulere punktskyen. På denne måten fungerte trianguleringen av punktene uten at meshet ble deformert. Etter at trianguleringen var ferdig, var størrelsen på meshet innenfor opplastningsgrensen til Sketchfab, og resultatet var tilfredsstillende.

### 8.2 VR

Google Street View lar andre brukere av applikasjonen se innholdet man publiserer. I sammenheng med presentasjon av kulturminner fremstår applikasjonen enkel og tilgjengelig. Tilgjengeligheten og brukergrensesnittet gjør at folk fra hele verden kan bidra med bilder og

data i applikasjonen. Dette er dog et tveegget sverd. Samtidig som det er mange som kan bidra, kan dette også være en svakhet da kvaliteten kan variere.

Et av målene med å presentere kulturminnet i VR var å gjøre det billig og så brukervennlig som mulig. VR-brillene vi har brukt er av typen Exibel GX-VR og koster 149 kr. Brillene er compatible med smarttelefon med tilhørende applikasjon. Google Street View er gratis. Forutsatt at man har en smarttelefon hvor man kan laste ned applikasjonen, kan en VR-opplevelse av Håkonshallen kun koste brukeren 149 kr. En slik fremstilling av et kulturminne kan ha ulike bruksområder. Det kan for eksempel brukes i undervisningssammenheng, i sammenheng med turisme eller kun til privat bruk.

Resultatet indikerer at det er fullt mulig å presentere et kulturminne med en enkel, billig og tilgjengelig metode. Ved å kombinere open source-applikasjonen Google Street View og rimelige VR-briller kan Håkonshallen presenteres som et tredimensjonalt bilde for brukere av applikasjonen.

Google Street View er et program hvor alle med Google-konto kan legge til 360°-fotografier. Dette betyr at kvaliteten på det som ligger ute varierer, og det kan være utfordrende å få til gode overlapper mellom bildene. En annen utfordring med 360°-fotografier er at man ikke kan bevege seg fritt rundt i rommet i VR-løsningen, men er låst i den posisjonen hvor bildene tatt fra. Dette kan dog løses med å foreta fotograferingene med sfærisk kamera, som er et kamera som kontinuerlig tar bilder 360° rundt seg. Dette løser også utfordringen med å få gode overlapper mellom bildene, men er til gjengjeld en dyrere løsning.

Fremvisning av 3D-modellen i VR lar seg gjøre ved hjelp av applikasjonen Sketchfab. Applikasjonen har en innebygget funksjon for VR. Her har man mulighet til å bevege seg rundt objektet ved et enkelt tastetrykk. På denne måten kan man observere Håkonshallen fra forskjellige vinkler. 3D-modellen i Sketchfab ble eksportert uten teksturering da det var dette som lot seg gjøre grunnet begrensninger på filstørrelsen.

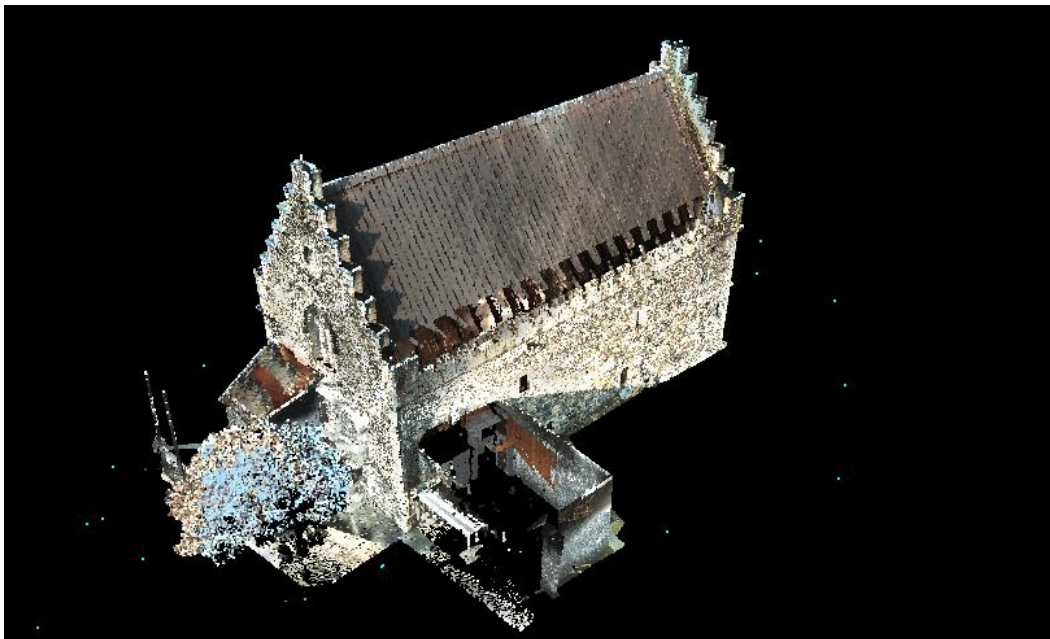
Google Street View og Sketchfab baserer seg på ulike typer data. I Street View benytter man seg av fotografier tatt av brukere, mens Sketchfab baserer seg på data fra laserskanning. En stor fordel ved å benytte seg av Street View, er at dette krever mindre arbeid, mindre kompetanse og har et bedre brukergrensesnitt enn en VR-løsning basert på laserteknologi. Laserskanning resulterer som regel i store datamengder, noe som krever mye prosessering og kompetanse dersom man skal få til en web-basert VR-løsning. Punktskyene må tynnes og samtidig må trianguleringen være av en slik art at filen ikke blir for stor. Dette fører igjen til



at kvaliteten på dataene blir lav og sluttproduktet ikke blir optimalt. Om formålet ikke er å ha en web-basert VR-løsning, men at man for eksempel lagrer 3D-modellen internt på en datamaskin, har ikke filstørrelsen på 3D-modellen så mye å si, ettersom den ikke trenger å lastes opp. Da kan man få presentert 3D-modellen i VR i høyere oppløsning, og man vil sitte igjen med et bedre resultat. Dette vil dog kreve mer komplekse og dyrekjøpte VR-briller for å få presentert i VR, samt at det vil bli vanskeligere å formidlet til menigmann.

### 8.3 Punktskyen

Som følge av at Håkonshallen ligger i sentrum av Bergen, er det ikke lov å benytte drone i luftrommet. På figur 36 ser man utfordringer man møter uten tilgang på drone eller nærliggende høyder. Da får man ikke laserskannet områder hvor terrestrisk laserskanner ikke når. Basert på begrenset tilgang til utstyr og tillatelser, har punktskyen hull på enkelte områder. Dette kan løses ved å ha tilgang på lasermålinger og bilder fra drone. Samtidig er det ikke mangel på punkt der hvor skanneren har hatt sitt virkeområde. Den ferdige registrerte og renskede punktskyen inneholder 190 152 165 antall punkt.



*Figur 36: Nederst på taket og på toppen av trappeoppgangen ser man områder hvor laserskanneren ikke har hatt tilstrekkelig sikt fra bakkeplan*

### 8.4 Laserskanning

Laserskannet av Håkonshallen innendørs produserte den desidert største filen. Resultatet etter fire oppstillinger er en fil på nesten 21gb. Til sammenligning er filstørrelsen på skannene av

hallens fasade på litt over 5gb, mens skannene av trappen er på nesten 11gb. Det er to grunner til såpass markante forskjeller i datamengder. Den ene er at det er blitt skannet med ulike oppløsninger og kvaliteter. Den andre er den ulike fremgangsmåten på skanning utført innendørs og utendørs. Utendørs gjorde vi utsnitt av grovskannet hvor vi kun valgte å skanne bygningen med god kvalitet og oppløsning. Innendørs gjorde vi ikke utsnitt i målebildet og skannet med god oppløsning og kvalitet i hele arbeidsfeltet til skanneren. Dette produserer et betydelig høyere antall punkt i punktskyen, og derfor også en høyere datamengde. Ved å skanne med høy kvalitet og oppløsning, øker også tidsbruken per skann.

Siden datamengden viste seg å by på noen utfordringer for databehandling, ville en mulighet vært å gjøre utsnitt også inne og i trappen, hvor vi lot skanneren skanne i hele arbeidsfeltet. Dette ville redusert datamengden og tidsbruken. Vi valgte likevel å ikke gjøre det under praktisk måling, men heller manuelt velge vindu i postprosesseringsverktøyet Leica Cyclone, ettersom tanken vår var å heller skanne for mye og få redusert datamengden i Leica Cyclone. Hvis vi bare hadde hatt tilgang på CloudCompare måtte vi trolig ha redusert datamengden betydelig i selve skanningsarbeidet, siden CloudCompare ikke tillater å tynne skyene ved import slik som Leica Cyclone. Oppløsningen vi brukte under målearbeidet hadde en punkttetthet på 1,6 millimeter på 10. meter. Av praktiske hensyn valgte vi å importere 1/16 av datamengden.

Man kan behandle skyene i CloudCompare, men vårt omfang av data gjorde oss nødt til å gå via Leica Cyclone for å redusere mengden til et nivå CloudCompare. På bakgrunn av våre erfaringer kan det se ut som CloudCompare er mindre egnet for behandling av punktskyer når skyene er over en viss størrelse.

Selv om Leica Cyclone er et godt program med mange muligheter holder det ikke bare å ha tilgang på programmet. Prosesseringen krever ressurser fra både CPU, RAM og grafikkort. Vår datamaskin har i5-prosessor med 8GB RAM og 2GB minne på grafikkort, men viste seg å være i minste laget. For å få en datamaskin som fungerte til formålet, var vi avhengige av å låne en med bedre kapasitet. Skal man holde på med et slikt arbeid må man altså være klar over hvilke spesifikasjoner som kreves, både når det gjelder filtyper og datamaskinkapasitet.

En utfordring når man skal skanne kulturminner er forsiktigheten man må utøve underveis. Kulturminner er sårbare objekter. I festsalen er det plassert et kongesete som er fysisk avsperrert for publikum for å skåne podiet for ytre faktorer. For vår del gjorde dette at det vi ikke fikk en oppstilling helt innerst i festsalen. Når man skanner kulturminner er dette helt

vanlige problemer man støter på. Det er en hele tiden et samspill hvor man skal balansere dokumentasjon og bevaring av objektet. Laserskanning er en svært skånsom bevaringsmetode og påvirker skanneobjektet i liten grad, men som bachelorstudenter med begrenset tilgang er dette utfordringer man må løse med de mulighetene man har. I vårt tilfelle plasserte vi ene oppstillingen så tett opptil podiet som mulig for å få med det som var bak kongesetet. I figur 37 kan man se avsperringen som holder kongesetet og publikum adskilt. Da laserskanning er en berøringsfri metode som er svært skånsomt ovenfor måleobjektet (Gustavsen, 2009, s. 18) ville det nok vært uproblematisk å ha en oppstilling bak sperringene.



Figur 37: Festsalen og kongesetet. Avsperringstauet er vagt synlig rett før trinnene opp til kongesetet.

Stativene har grove tagger som er egnet for utendørsbruk. For å skåne underlaget innendørs har vi brukt stjernefotter under alle stativene. Dette hindrer at man er uheldig og lager permanente merker fra stativene i tregulv. I festsalen og i trappesatsen er underlaget hovedsakelig tre. En annen årsak til å bruke stjernefot er for å gjøre oppstillingene mer stabile og permanente da bevegelse og rotasjon av stativet kan tilføre feil i målingene. En rotasjon i topplaten på 0,1 mm, vil i horisontalretningen gi en feil på rundt 0,1 gon (Skogseth og Norberg, 2014, s. 114). Dette er også forbehold vi har tatt utendørs ved å være påpasselige med



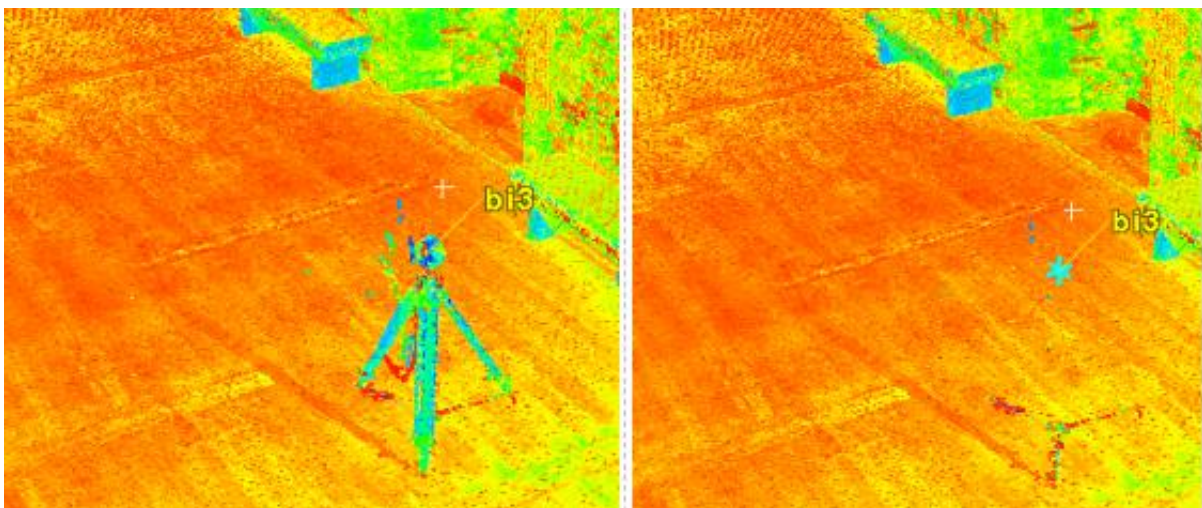
Figur 38: Stativ stående på stjernefot



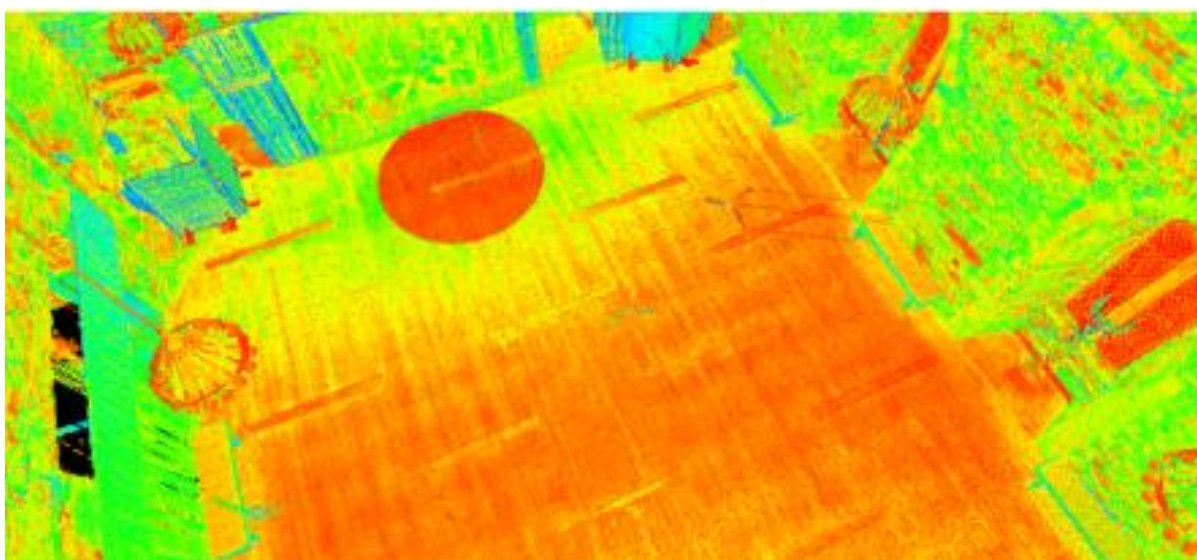
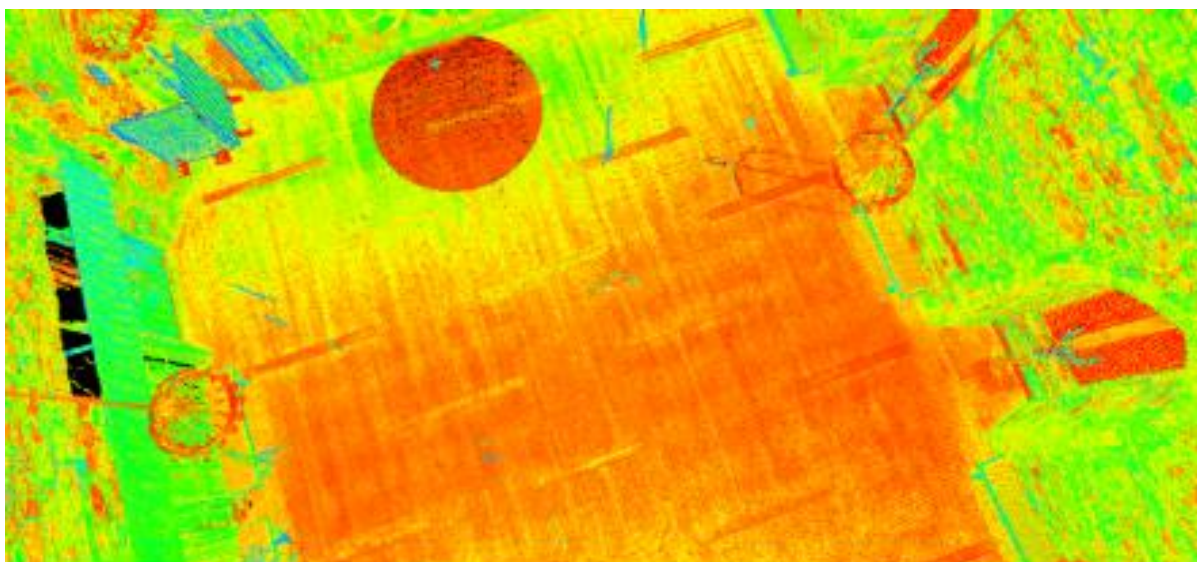
plassering av stativer på stabilt underlag som gir feste som varer hele skanneøkten.

Plassering av blinkene var under hele prosessen et samspill mellom laserskannerens posisjon og totalstasjonens sikt til fastmerkene. Plasseringen var også en avgjørende faktor for å få mest nytte ut av tiden vi hadde til rådighet. Dette har i enkelte tilfeller gitt en svakere geometri på enkelte skanneoppstillinger. For eksempel er S7 sin geometri, med sikt til B8-B11, ikke optimal (se figur 9).

En av utfordringene med laserskanning av kulturminner er publikum. Skanneøktene våre har utelukkende vært i Håkonshallen og Bergenhus Festnings åpningstid. Dette medfører at det er en mulighet for uønsket støy i punkttskyen i form av mennesker. Støy er uønskede elementer i punkttskyen som ikke hører hjemme der. Ved å fjerne irrelevante punkt fra skyen kan man produsere modeller som kun inneholder objektet man er interessert i (Castagnetti mfl., 2012, s. 3). Punkt fra midlertidige objekter må derfor ofte ryddes manuelt ettersom det er få automatiske funksjoner som kan raffinere dataene (Vosselman og Maas, 2010, s. 157). Det optimale er å være forutseende og prøve å unngå at det kommer uønskede elementer med i punkttskyen. I vårt tilfelle har dette til dels latt seg gjøre, selv om det har vært uunngåelig at publikum har beveget seg innenfor skannerens arbeidsområde. Et annet element vi har ansett som støy i punkttskyen er blinkene. Disse gir modellen et industrielt preg som ikke hører hjemme i et kulturminne. Vi har derfor foretatt en punktrens av blinker og annet støy som ikke hører hjemme i punkttskyen.

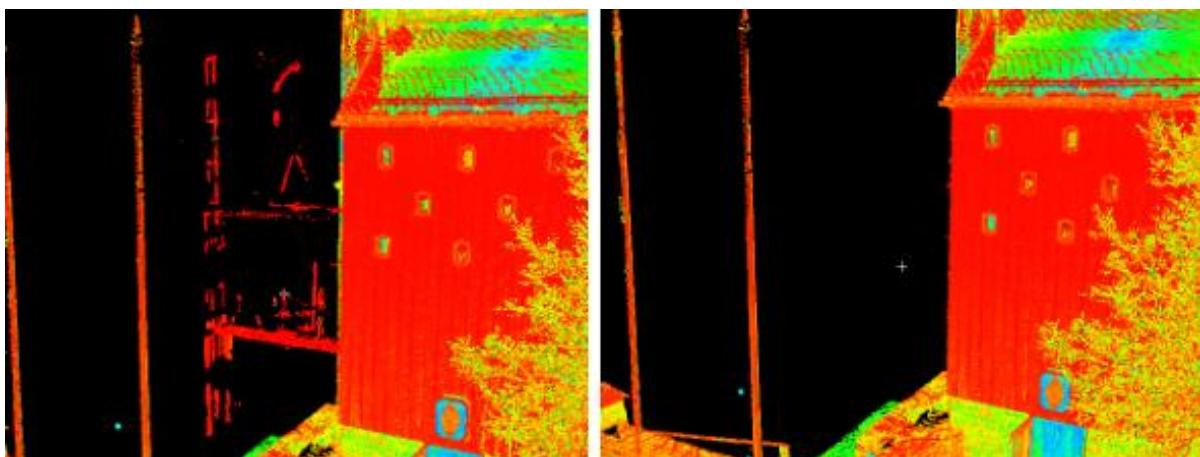


Figur 39: Her ser vi før og etter punktrens av en blink på stativ



*Figur 40: Her ser man festsalen før og etter punktrens av det som trolig er menneskelige bevegelser*

På figur 39 ser man støy i form av blinker satt opp for å registrere skyene mot hverandre. På øverste bilde i figur 40 ser man blågrønne streker over gulvet som trolig kommer fra mennesker som har gått forbi skanneren under arbeidet. Siden Håkonshallen er en turistattraksjon i Bergen sentrum kunne man ikke stenge av hallen mens vi holdt på med arbeidet. Denne typen støy, som har punkt bak seg, blir fjernet nettopp ved hjelp av punktene som ligger bak. Når man har en flate – som er gulvet i denne sammenheng – kan man bestemme at all støy som avviker fra denne flaten blir fjernet.



*Figur 41: Støy før og etter punktrensk*

Støyen i figur 41 har kommet fra skanningen i trappeoppgangen, hvor laserskanneren har skannet ut vinduet. Her ser man støy som krever en annen type rensking. Siden det ikke finnes punkt bak, kan man markere området rundt støyen, og velge å slette alt som befinner seg innenfor dette området. Dette har vist seg som en effektiv måte for å fjerne støy.

## 9 Konklusjon

Laserskanning av Håkonshallen har vist seg å være en godt egnet metode for å samle inn data som kan brukes til å produsere en punktsky av kulturminnet. Den ferdige renskede punktskyen inneholder 190 152 165 punkt fordelt på 18 oppstillinger, noe som sier oss at omfanget av datainnsamling med Leica P20 er stort, og danner et detaljrikt bilde av studieobjektet. Ved bruk av drone i tillegg kan man få dekket de små områdene der terrestrisk laserskanner ikke strekker til. Det har vært nødvendig å kombinere Leica Cyclone, CloudCompare og Cinema 4D for å danne grunnlaget for 3D-presentasjon. Ved å ta i bruk åpne kildekode-programmer har vi vist at det er mulig å presentere kulturminner på en rimelig og brukervennlig måte som er tilgjengelig for allmennheten. Både Google Street View og Sketchfab er egnet til å presentere Håkonshallen i en VR-løsning, hvor førstnevnte er mer brukervennlig og krever mindre utstyr og programvare. 3D-modellen fra Sketchfab baserer seg på data fra laserskanningen, og er forenklet for å kunne håndteres i VR. Rent estetisk får man et bedre inntrykk av VR-løsningen fra Google Street View, men resultatet fra laserskanningen gir et bredere bruksområde.

## 10 Veien videre

En idé til videre presentering av kulturminner kan være å gjøre opptak av objektet i en 360°-video og laste filen opp til et egnet nettsted eller applikasjon. Da har man også mulighet til å legge til lydklipp hvor man kan bli presentert fakta om kulturminnet, og på denne måten få en guidet tur ved å benytte seg av VR-teknologi. 3D-modellen som ble presentert i webbløsningen inneholder kun utsiden av modellen. I et videre arbeid ville det vært interessant å se på muligheten for å legge til innsiden av Håkonshallen. For å komplementere dataene vi har samlet inn av Håkonshallen er det mulig å benytte seg av drone. Da kan man koble disse datasettene sammen ved hjelp av den georefererte registreringen fra Leica Cyclone.

## 11 Digitale vedlegg på ekstern harddisk

### 11.1 Rapporter

#### 11.1.1 Leica Infinity

*11.1.1.1 Rapport FM1*

*11.1.1.2 Rapport FM2*

*11.1.1.3 Rapport FM3*

*11.1.1.4 Rapport FM4*

#### 11.1.2 Gemini Oppmåling

*11.1.2.1 Grovfeilrapport gemini*

*11.1.2.2 Endelig utjevning gemini*

#### 11.1.3 Leica Cyclone

*11.1.3.1 Rapporter utside*

*11.1.3.2 Rapport festsal*

*11.1.3.3 Rapport trappeoppgang*

*11.1.3.4 Rapport sammenslått punktsky*

*11.1.3.5 Rapport georeferert punktsky*

### 11.2 Rådata

*11.2.1.1 Fastmerker målt statisk GNSS*

*11.2.1.2 Blinker og totalstasjonsoppstillinger*

*11.2.1.3 Rådata fra Leica P20*

*11.2.1.4 Gjennomflygningsvideo*

*11.2.1.5 Video av 360-visning fra Cinema 4D*

### 11.3 Utstyrliste



## 12 Litteraturliste

- Boehler, W. og Marbs, Andreas (2002) *3D Scanning Instruments*. Mainz: University of Applied Science. Tilgjengelig fra:  
<[http://i3mainz.de/sites/default/files/public/data/p05\\_Boehler.pdf](http://i3mainz.de/sites/default/files/public/data/p05_Boehler.pdf)> [Lest 05. februar 2019].
- Bymuseet i Bergen (u.å.) *En steinhall verdig en konge* [Internett]. Bergen: Bymuseet i Bergen. Tilgjengelig fra: <<https://www.bymuseet.no/vaare-museer/haakonshallen>> [Lest 26. februar 2019]
- Castagnetti, C., Bertacchini, E., Capra, A. Dubbini, M. (2012) *Terrestrial Laser Scanning for Preserving Cultural Heritage: Analysis of Geometric Anomalies for Ancient Structures*. Rome: University of Modena and Reggio Emilia. Tilgjengelig fra:  
<[https://iris.unimore.it/retrieve/handle/11380/746897/91451/2012\\_FIG\\_TLSculturalheritage\\_Castagnetti.pdf](https://iris.unimore.it/retrieve/handle/11380/746897/91451/2012_FIG_TLSculturalheritage_Castagnetti.pdf)> [Lest 01. mai 2019].
- CSC (u.å.) *CloudCompare* [Internett]. Tilgjengelig fra <<https://research.csc.fi/-/cloudcompare>> [Lest 26. april 2019]
- Dalhum, S. og Wæhle, E. (2018) *Case-studie* [Internett]. Oslo: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <<https://snl.no/case-studie>> [Lest 11 april 2019].
- Forsvarsbygg (2016) *Håkonshallen* [Internett]. Oslo: Forsvarsbygg. Tilgjengelig fra:  
<<https://www.forsvarsbygg.no/no/verneplaner/bergenhus-festning/katalog/hakonshallen>> [Lest 26. april 2019]
- Google (u.å) *Street View* [Internett] Norge: Google. Tilgjengelig fra:  
<<https://www.google.no/intl/no/streetview/>> [Lest 13. Mai 2019].
- Graphisoft (u.å) *CINEMA 4D* [Internett]. Norge: Graphisoft. Tilgjengelig fra:  
<<https://graphisoft.no/andre-produkter/cinema-4d-4/>> [Lest 12. mai 2019]
- Grinderud, K. og Haavik-Nilsen, A.C. (2016) *GIS – Geografiens språk i vår tidsalder*. 2. utg. Bergen: Fagbokforlaget.
- Johnsen, Y. (1986) *Vern av kulturminner i Norge*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Kartverket (2009) *Satellittbasert posisjonsbestemmelse*. Tilgjengelig fra:  
<<https://www.kartverket.no/globalassets/standard/bransjestandarder-utover-sosi/satbaspossystemer.pdf>> [Lest 26. Februar 2019].

Kulturminneloven. Lov 9. juni 1978 nr. 50 om kulturminner.

Leica Geosystems (2013) *Leica ScanStation P20: System Field Manual*. 2. utg. Heerbrugg: Leica Geosystems AG.

Leica Geosystems (2014) *Leica ScanStation P20: User Manual*. 3. utg. Heerbrugg: Leica Geosystems AG. Tilgjengelig fra: <<https://www.sccssurvey.co.uk/pdfs/HDS/Leica-ScanStation-P20-User-Manual.pdf>> [Lest 05. februar 2019].

Leica Geosystems (u.å. a) *Leica Infinity landmålingsprogramvare* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://leica-geosystems.com/nn-no/products/total-stations/software/leica-infinity>> [Lest 04. mars 2019]

Leica Geosystems (u.å. b) *Leica Cyclone Survey* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-survey>> [Lest 04. mars 2019]

Lou, M. og Griggs, B. (2019) Four years ago, an art historian used lasers to digitally map Notre Dame Cathedral. *CNN* [Internett], 18. april 2019. Tilgjengelig fra: <<https://edition.cnn.com/style/article/notre-dame-andrew-tallon-laser-scan-trnd/index.html>> [Lest 6. mai 2019]

Menon Economics (2017) *Verdien av kulturarv*. Menon-publikasjon nr. 72/2017. Ukjent sted: Menon Economics.

Norsk Kulturminnefond (2014) *Viktige aktører i kulturminneforvaltninga i Norge* [Internett]. Røros: Norsk Kulturminnefond. Tilgjengelig fra: <<https://kulturminnefondet.no/wp-content/uploads/2016/06/2.1-Viktige-aktører-i-norsk-kulturminneforvaltning.pdf>> [Lest 14. april 2019]

Orning, H. J. (2018) *Middelalderbyen* [Internett]. Oslo: Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: <<https://www.norgeshistorie.no/hoymiddelalder/hus-og-hjem/0904-middelalderbyen.html>> [Lest 28. april 2019]

Pedersen, R. (2016) Et sammensatt kunnskapsfelt. I: Bakken, K. red. *Bevaring av stavkirkene*. Oslo: Pax Forlag A/S, 167-190.

Powel (2016) *Gemini Oppmåling* [Internett]. Tilgjengelig fra: <[https://www.powel.com/globalassets/product-information/contracting/wp\\_gemini-oppmaling\\_2016.pdf](https://www.powel.com/globalassets/product-information/contracting/wp_gemini-oppmaling_2016.pdf)> [Lest 04. mars 2019]



Riksantikvaren (u.å. a) *Hvorfor fredning?* [Internett]. Oslo: Riksantikvaren. Tilgjengelig fra: <<https://www.riksantikvaren.no/Fredning/Hvorfor-fredning>> [Lest 30. april 2019].

Riksantikvaren (u.å. b) *Tegningsarkivet* [Internett]. Oslo: Riksantikvaren. Tilgjengelig fra: <<https://www.riksantikvaren.no/Om-oss/Arkiver/Tegningsarkivet>> [Lest 25. april 2019]

Riksantikvaren (u.å. c) *Om oss* [Internett]. Oslo: Riksantikvaren. Tilgjengelig fra: <<https://www.riksantikvaren.no/Om-oss>> [Lest 27. mars 2019]

Riksantikvaren (u.å. d) *Askeladden* [Internett]. Oslo: Riksantikvaren. Tilgjengelig fra: <<https://www.riksantikvaren.no/Veiledning/Data-og-tjenester/Askeladden>> [Lest 26. mars 2019]

Riksantikvaren (2016) *Riksantikvaren strategi 2017-2021* [Internett]. Oslo: Riksantikvaren. Tilgjengelig fra:

<[https://ra.brage.unit.no/ra-xmlui/bitstream/handle/11250/2419142/RA\\_strategi\\_2017\\_2021.pdf](https://ra.brage.unit.no/ra-xmlui/bitstream/handle/11250/2419142/RA_strategi_2017_2021.pdf)> [Lest 18. april 2019]

Riksantikvaren (2018) *Kulturminner* [Internett]. Oslo: Riksantikvaren. Tilgjengelig fra: <<https://www.miljostatus.no/tema/kulturminner>> [Lest 29. april 2019]

Sketchfab (u.å.) *Sketchfab* [Internett]. Ukjent sted: Sketchfab. Tilgjengelig fra: <<https://sketchfab.com>> [Lest 12. mai 2019]

Skogseth, T. og Norberg, D. (2014) *Grunnleggende landmåling*. Oslo: Gyldendal Undervisning.

Statsbygg (2009) *Håkonshallen, Bergenhus* [Internett]. Ukjent sted: Statsbygg. Tilgjengelig fra:

<[https://www.statsbygg.no/files/eiendommer/Region\\_vest/00112\\_Bergenhus/andreFiler/Faktaark\\_Hakonshall\\_5.pdf](https://www.statsbygg.no/files/eiendommer/Region_vest/00112_Bergenhus/andreFiler/Faktaark_Hakonshall_5.pdf)> [Lest 23. april 2019]

Tidvis (u.å.) *Interaktiv historieformidling* [Internett]. Ukjent sted: Tidvis. Tilgjengelig fra: <<https://www.tidvis.no>> [Lest 23. april 2019]

Urke, H. E. (2018) *VR og AR*. Oslo: Cappelen Damm.

Vosselman, G og Maas, H. (2010) *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Dunbeath: Whittles Publishing.

Ågotnes, A. og Øye, I. (2011) *Fra kongssete til kulturminne*. Bergen: John Grieg Forlag.