

Working Paper

Praksisnær digital bygningsregistrering med fotogrammetri udført med lavpris teknologi

Working Paper udarbejdet af: Jonas Lyng Nielsen, Lektor

Feltforsøg udført af: Jonas Lyng Nielsen, Lektor og Mads Oggesen, Adjunkt

Peer-reviewed af Niels Ole Christiansen, Lektor, VIA University College

13. december 2021

Indholdsfortegnelse

Abstract	3
1 Introduktion	3
1.1 Indledning	3
1.2 Hypotese	3
1.3 Afgrænsning	3
1.4 Opbygning	3
2 Litterature Review	4
2.1 Indsamlet litteratur	4
2.2 Analyse	4
2.3 Sammenfatning	5
3 Metode	5
4 Analyse	6
4.1 Kortlægning af anvendte teknologier	6
4.2 Forsøg med udvendig registrering	7
4.3 Forsøg med indvendig registrering	10
4.4 Forsøg med områderegistrering	12
4.5 Forsøg med case: Birkebjergparken	13
4.6 Videreformidling af data	15
5 Konklusion	15
6 Referencer	16

Abstract

Følgende Working Paper (WP) har til formål at afdække mulighederne for at bruge forbrugerteknologi til fotogrammetrisk registrering af en eksisterende bygningsmasse. Helt målrettet er der fokus på nemme optimerede arbejdsgange med værktøjer, som personer uden erfaring kan bruge. Formålet er at kunne inspirere en offentlig bygningstjeneste til at anvende digitale værktøjer til bygningsregistrering. I WP er der arbejdet efter en deduktiv metode, hvor en hypotese forsøges at blive eftervist. Derfor bliver der afprøvet et række forskellig hardware og software for at finde frem til en brugervenlig arbejdsgang. Resultaterne viser, at der ikke findes ét værktøj der kan det hele. Udfordringen ligger i om der laves udvendig eller indvendig fotogrammetri. Pix4D kombineret med en iPad pro med ultravidvinkel kamera eller en DJI Mavic 2 pro drone viste sig at være en god platform til både at arbejde med udendørs fotogrammetri fra jorden og i luften. Pix4D er ligeledes en god platform til videreformidling af de endelige resultater. Når der blev kigget på udstyr til indendørs fotogrammetri var det klart at Matterport kombineret med Insta360 ONE X viste sig at være mest brugervenligt både ved registrering og formidling.

1 Introduktion

1.1 Indledning

Fotogrammetri har en lang historie bag sig. Fotogrammetri blev i tidernes morgen anvendt i analog form med to billeder i papir der blev betragtet med et specielt instrument for at give en 3D oplevelse. I dag er teknologien nået så langt, at man kan udarbejde 3D fotogrammetriske modeller ud fra billeder taget med en smartphone. I dette projekt kigger vi på, hvordan en bygherre kan anvende forbrugerteknologi til at lave fotogrammetriske modeller til brug for registrering og dokumentation af en eksisterende bygningsmasse. I projektet kommer vi til at betragte, hvordan man nemt og brugervenligt kan gøre dette for lægmand som ingen erfaring har på netop dette område.

Dette WP er udarbejdet som vidensopsamling af resultaterne i projektet "Digital registrering" som er et underprojekt af "Bæredygtig grøn byudvikling del 2". "Bæredygtig grøn byudvikling del 2" er et underprojekt af "Bæredygtig grøn byudvikling" som er et større EU-regionalfondsprojekt med EU-finansiering (<https://res-sourcecity.dk/bgb/>). I vores del af projektet er der samarbejdet med Næstved kommune.

1.2 Hypotese

Bygherrer kan udnytte forbrugerteknologi sammen med professionelt fotogrammetrisoftware til at udføre en nem fotogrammetrisk digital registrering af eksisterende bygninger til efterfølgende brug for registrering og kategorisering af bygninger og dens bygningsdele.

1.3 Afgrænsning

Projektet har fokus på teknologi som er let tilgængelig og med en ca. max pris på 15.000. Ved at vælge teknologier i dette prisleje er chancen for at det bliver anvendt væsentlig større end hvis vi f.eks. valgte at bruge en laserscanner til 150.000 som de færreste bygningstjenester hos en bygherre "bare lige" køber for at se om det er noget for dem.

En laserscanner vil nemt kunne lave opgaven omend at der selvfølgelig vil været noget behandlingstid og krav til kraftige computere i arbejdsgangen med data.

Fotogrammetri er kraftigt på vej frem og udviklingen af ny og god software viser en retning, hvor man faktisk kan udnytte den teknologi man allerede har tilgængeligt - nemlig et kamera, smartphone eller iPad.

Vi har udført test på en række forskellige bygninger af forskellige kompleksiteter og arbejdet imod at lave et egentligt forsøg med en bygning i Birkebjergparken i Næstved. Sammen med bygherre (Næstved Kommune) har vi udvalgt en bolig som er repræsentativ for de bygninger som Næstved Kommune arbejder på at udvikle i fremtiden.

1.4 Opbygning

WP er opbygget med en praksisnær tilgang. I afsnittet "Litterature Review" går vi i dybden med eksisterende litteratur og prøver at bygge videre på de erfaringer som branchen allerede har. Under afsnittet "Metode" forklarer vi, vores tilgang til forsøg og indsamling af

erfaring og viden, i projektets kontekst. Under afsnittet "Analyse" dokumenteres kortlægningen af en række teknologier og udvalgte teknologier bliver brugt til at se om de også virker i en konkret case. I analyseafsnittet vil der være små delkonklusioner, som forklarer hvilke fordele og udfordringer der vil være ved de enkelte teknologier.

2 Litterature Review

2.1 Indsamlet litteratur

Vi har valgt at bruge EBSCO og Google Scholar databaserne til at afsøge vidensområdet for relevante artikler inden for projektets afgrænsning. Der findes en del artikler på området, men mange af artiklerne er af ældre dato, hvor det ofte har været konstateret at udviklingen er løbet fra artiklerne og derfor ikke inddraget.

Emner omkring automatiserede fotogrammetri metoder kan der ikke findes litteratur på.

Vi har valgt at anvende følgende artikler:

"Can we use low-cost 360 degree cameras to create accurate 3D models?" - L. Barazzetti, M. Previtali, and F. Roncoroni (Barazzetti, Previtali, & Roncoroni, 2018)

"Building a 3D World One Snapshot at a Time" - Businessweek (Greene, 2007)

"3D virtualization by close range photogrammetry indoor gothic church apses. The case study of church of San Francisco in Bentanzos (La Coruña, Spain)" (Pérez Ramos & Robleda Prieto, 2015)

"Evaluation of low-cost terrestrial photogrammetry for 3D reconstruction of complex buildings" (Altman, Xiao, & Grayson, 2017)

"Acquisition and processing protocols for UAV images: 3D modeling of historical buildings using photogrammetry" (Muriyoso, Koehl, & Freville, 2017)

2.2 Analyse

I artiklen "Can we use low-cost 360 degree cameras to create accurate 3D models?" beskriver de hvordan de anvender et forholdsvis billigt 360 graders kamera til at tage billeder indvendigt i en bygning mhp. indendørs fotogrammetri med den fordel at kameraet kan tage billeder i alle retninger med ét klik. I artiklen er den væsentlige pointe i konklusionen, at ulemperne ved at bruge 360 graders kameraer er at opløsningen er forholdsvis begrænset, når man betragter hvor stort område billedet skal dække. F.eks. hvis et 360 graders kamera har en samlet sensor på 24 MP og et tilsvarende traditionelt kamera har det samme, så skal 360 graders kameraet måske dække 4 gange så stort område og derfor vil opløsningen på de enkelte steder blive 4 gange så lav som med et traditionelt kamera. Derfor er det vigtigt at kigge efter hvor stor opløsning man får for "pengene" såfremt man skal ud og indkøbe 360 graders kamera til denne type opgave.

I artiklen "Building a 3D World One Snapshot at a Time" bliver der beskrevet at der i et projekt omkring Notre Dame er der forsøgt at lave fotogrammetriske modeller ud fra turistbilleder taget af kirken. Tanken er rigtig god og idéen bag at lave en 3D model på baggrund af "crowd data" er meget fin. Ulemperne og det man skal være opmærksom på er at billeder taget med mange forskellige typer kameraer og dage er at lysforhold og skarphed kan være meget varieret fra billede til billede og dette er netop en af de store problemer i projektet her.

I artiklen "3D virtualization by close range photogrammetry indoor gothic church apses. The case study of church of San Francisco in Bentanzos (La Coruña, Spain)" beskriver de, hvordan de har anvendt fotogrammetri med et DSLR kamera¹ med et objektiv på 18-135 mm. Altså et semiprofessionelt kamera i et prisleje tilgængeligt for de fleste. I artiklen beskriver de hvilke udfordringer de har mødt og sammenligner arbejdet med tilsvarende registrering med en 3D laser-scanner. Fordelene ved at bruge fotogrammetri i dette tilfælde er at teknologien er noget alle kan komme i nærheden af. Ulemperne på den anden side er der lidt flere af. Når der laves fotogrammetriske modeller indvendigt i bygninger skal der mange opstillinger til da kameraet kun tager "én vej" og derfor skal der mange positioner til at dække alle overflader. Lysforhold er også en udfordring da rum ofte ikke er ligeligt belyst

¹ DSLR kamera = "Digitalt spejlrefleks kamera"

alle steder, der kan f.eks. også komme lys udefra igennem vinduer som hertil laver en stor variation i lysforholdene. For at kunne modvirke dette kan opgaven evt. laves en overskyet dag eller nat, hvor der opstilles kunstigt lys i området hvor der tages billeder.

I artiklen "Evaluation of low-cost terrestrial photogrammetry for 3D reconstruction of complex buildings" har forskerne fokuseret på om man kan anvende prisbillig fotogrammetri til at rekonstruere komplekse bygninger digitalt i 3D. De konkluderer at denne form for fotogrammetri er optimal til at genererer stærke visuelle digitale modeller, hvor en centimeter nøjagtig model kan tolereres. Hvis der ønskes højere nøjagtighed skal der anvendes bedre udstyr og bedre træning og eksperimentering med forskellig software for at finde det mest optimale setup. Desuden er "control points" at foretrække for at få en mere præcis model. De konkluderer også at der er mange variabler der skal tages højde for som kan være svære at forudse. Høje bygninger er også en udfordring med håndholdt fotogrammetri, da man ikke kan nå op i den rette højde for at kunne tage optimale billeder.

I artiklen "Acquisition and processing protocols for UAV images: 3D modeling of historical buildings using photogrammetry" (Muriyoso, Koehl, & Freville, 2017) har de arbejdet med at producere fotogrammetriske modeller fra drone data af historiske bygninger. De har specifikt anvendt to forskellige droner. Én som er produceret specifikt til formålet (Sensefly Albris) og én som er mere almindelig på dronemarkedet (DJI Phantom 3). Man kan læse i artiklen at sensorstørrelse har en væsentlig betydning for skarpe billeder, jo større jo bedre. De har desuden sammenlignet en række forskellige software og sammenholdt det med en punktsky som referencemodel. I artiklen er de meget begejstret for dronen Albris, men den har den ulempe at den er forholdsvis stor og tager en del overflyvninger for at få indhentet alle data. DJI Phantom 3 dronen er ikke designet specifikt til droneopmåling, men får ros for det er en meget stabil drone og leverede en fornuftig fotogrammetrisk model med centimeter præcision. I forhold til efterbehandlingssoftware bliver *Pix4D* og *Agisoft Photoscan* fremhævet i konklusionen som værktøjer der kan producere forholdsvis præcise modeller, en viden som vi vil gøre brug af når vi kommer til valg af software.

2.3 Sammenfatning

Ved fotogrammetri med håndholdt kamera er der nogle faktorer man skal være opmærksom på når man udvælger udstyr. Man skal anvende samme kamera til samme model i optimale lysforhold (Greene, 2007). Det kan f.eks. være at tage billeder på en overskyet dag med massere af ambient lys for at slippe for hårde skygger som den efterfølgende software kan have svært ved at håndtere. En anden faktor man skal være opmærksom på er at hvis der laves indvendig fotogrammetri gælder det samme (Pérez Ramos & Robleda Prieto, 2015). Altså bygningsdele skal være velbelyst uden mørke områder for at få et optimalt resultat f.eks. ved brug af flytbart kunstigt lys. Når man betragter brugen af kameraudstyr er det optimalt at kigge på objektivkvalitet og den fysiske sensorstørrelse, samt hvor stor opløsning billederne kan tages med. Find det udstyr som har den bedste skarphed og højeste opløsning. (Barazzetti, Previtali, & Roncoroni, 2018) og (Muriyoso, Koehl, & Freville, 2017). Man skal være opmærksom på bygningernes højde hvis man tager billeder fra jorden, da høje bygninger er svære at få optimale billeder af (Altman, Xiao, & Grayson, 2017)

Når der skal udvælges en drone viser artiklen fra (Muriyoso, Koehl, & Freville, 2017) at en forbrugerdrone fra DJI faktisk yder ret godt, når man skal udarbejde fotogrammetriske modeller. Dronen er meget stabil og brugervenlig. Når man udvælger dronen skal der også kigges på sensorstørrelse og objektivkvalitet. Ved brug af forbrugerdrone kan man ikke forvente bedre end centimeter nøjagtighed på modellerne.

3 Metode

I dette projekt arbejdes der ud fra en deduktiv metode hvor der vil forsøges at bekræfte hypotesen beskrevet i introduktionen med den nyeste "low-cost" "state-of-the-art" teknologi. Dette gøres for at "trykprøve" teknologierne og se hvor langt de kan skubbes. Erfaring for arbejde med teknologier i BIM Lab Zealand viser at teknologi kan virke rigtig godt i et lille lukket miljø, men skales det op til en større kompliceret case kan der opstå nye problemer som ikke er kendt fra mindre testscenarier. Derfor er en deduktiv metode valgt, hvor en samarbejdspartner inddrages med virkelige komplicerede cases.

Vi vil i projektet kortlægge hvilke "low-cost" fotogrammetriske teknologier der findes på markedet og hvordan de kan bringes i anvendelse over for en konkret projektcase. I den indledende kortlægning vil der være forsøg med de enkelte teknologier for at finde frem til hvordan de yder i de konkrete situationer og herefter vil der drages en konklusion omkring hvilke(n) teknologi der vil gøre sig bedst i den konkrete projektcase i Birkebjergparken. I projektet vil der blive lavet et referencescan med en Leica BLK360 som økonomisk ligger over de udvalgte teknologer, men kendes som et præcist registreringsværktøj.

4 Analyse

4.1 Kortlægning af anvendte teknologier

I første kapitel vil vi kortlægge de forskellige teknologier. Teknologierne vil blive testet af på repræsentative bygninger.

Vi har delt forsøgene op i tre forskellige kategorier. Udvendig registrering, indvendig registrering og områderegistrering, da vi i forvejen har erfaring med at der kan være udfordringer med at kombinere to eller flere af emnerne i samme digitale registrering.

Udstyr og software

I forsøget er der anvendt både manuelt og automatiseret fotogrammetri med forskellig software og kameratyper.

Vi anvendte programmer fra Matterport og Pix4D og hardware fra Sony, DJI, Insta360 og Apple.

Vi har valgt at anvende et "mirrorless" kamera af typen *Sony Alpha A6600* med indbygget billedstabilisering samt et kvalitetsobjektiv fra Sony med brændvidde på 16-55 mm og fast blændetal på 2.8. Hypotesen med dette setup er at få mere skarpt skåret 3D modeller hvis billedmaterialet tilsvarende er af højere kvalitet.

Et andet kamera der er valgt er *DJI Osmo Pocket*. Et lille lommekamera med "gimbal" for god stabilisering af billeder og video. Med Osmo Pocket er det primært tanken at anvende film taget på en rundtur om bygningen for at se, hvor hurtigt data kan indsamles og om den er af høj nok kvalitet.

Fra Apple er der anvendt en iPad pro med vidvinkel kamera og lidar sensor. iPad'en kom ind som en joker til sidst i projektet for at se hvor meget vi kunne presse

en teknologi som der er mange der ligger inde med. Vidvinkel kameraet på iPad'en er af samme type som en iPhone 11 pro og derfor kan konklusionen fra iPad forsøget bruges direkte på iPhone.

Vi har valgt at bringe et 360 graders kamera med i dette projekt, da det har vist sig i vores review at det kan have nogle fordele når der skal laves indvendige registreringer. Billederne bliver taget i 360 grader og derfor reduceres antallet af billeder der er behov for. Valget faldt netop på Insta360 One X. Det er et kamera som er meget udbredt og da vi kunne se at mange 3. parts programmer understøttede netop dette kamera. Kameraet er forholdsvis billigt, ca. 2500 for kamera + udstyr. Ligeledes er kameraet med udskifteligt batteri, hvilket ifølge Matterport (samtale med Matterport til AU 2019 messe) en stor fordel når det skal bruges på større sager.

Vi har valgt at anvende DJI Mavic Pro 2 i dette projekt. Valget faldt på denne drone da vi både kiggede på pris, brugervenlighed og kamerakvalitet. Dronen har en forholdsvis stor sensor i dens Hasselblad kamera taget drones størrelse i betragtning. DJI Mavic Pro 2 er desuden en meget anvendt drone og derfor supporteret af mange 3. partsprogrammer. Netop dette er vigtigt for projektet da der også bringes automatiseringssoftware i brug, som netop kræver specifikke droner.

Til referencelaserscan i vores caseforsøg har vi anvendt Leica BLK360 med tilhørende software Leica Cyclon Register 360, for at kunne sammenligne de fotogrammetriske modeller med et præcist scan.

Fra Autodesk har vi valgt at bruge deres Recap software. Både til håndtering af punktsky med Recap Pro og fotogrammetri med Recap Photo. Recap Photo følger ofte med sammen med en Autodesk Revit "pakke" og derfor oplagt som første software til at komme i gang med fotogrammetri. Med Recap Photo behandles data online og man betaler med "cloud credits" pr databehandling af model alt efter størrelse. Dette har sin fordel i at man kan anvende sin PC på fuld styrke imens der arbejdes på at danne en fotogrammetrisk model.

Fra Pix4D blev der anvendt deres Pix4Dmapper, Pix4Dcatch, Pix4Dcapture og Pix4Dcloud. Pix4Dmapper er deres mest potente fotogrammetri software, hvori der kan indstilles på mange parametre og alt behandling af data foregår på egen pc. Pix4Dcatch er et

nyt automatiseret fotogrammetrisoftware til smartphone. Pix4Dcatch kan tage automatisk de fornødne billeder i takt med at der kigges på bygningen og hvis der samtidig bruges et iOS produkt med lidar scanner (iPad pro/iPhone pro) laver den kontinuerlige målinger med denne scanner for at gøre modellen mere præcis. Pix4Dcapture er deres autoflyvningssoftware til supporterede droner. Pix4Dcapture kan planlægge en rute og tage de fornødne billeder undervejs, helt automatisk. Efterfølgende uploades data fra dronen til telefonen og efterfølgende fra telefonen videre til Pix4Dcloud hvor det efterbehandles. Pix4Dcloud er online udgaven af Pix4Dmapper som er noget begrænset i sine muligheder, men hvor alt behandling foregår online og derfor vil der ikke være behov for store maskiner til behandling af data. Fordelen ved Pix4Dcloud er bl.a. også at det er integreret med Pix4Dcatch og Pix4Dcapture, således arbejdsgangen fra billede til model er meget smidig og optimeret uden behov for at lægge billeder på en computer.

Matterport er taget med i projektet da det virker ret lovende til digital registrering. Softwaren er ret overbevisende og det bygger nemt 3D modeller på deres platform. Det er oprindeligt tiltænkt ejendomsmæglerbranchen i USA, hvor distancerne imellem køber og sælger kan være store og man kan således med Matterport lave sin egen rundvisning i huset digitalt på afstand. Matterport kan bruges med flere forskellige stykker udstyr, men vi har valgt at bruge det sammen med Insta360 ONE X.

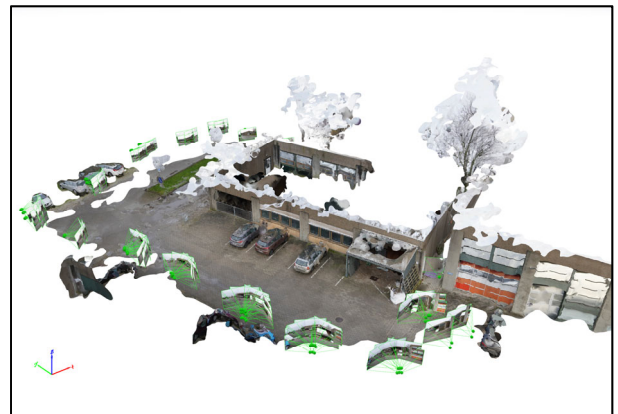
4.2 Forsøg med udvendig registrering

I de følgende forsøg bliver der arbejdet med, hvordan man kan opnå et godt resultat og en simpel arbejdsgang med udvendig digital registrering. Vi har lavet forsøg af manuel og automatiseret karakter og konkludere til sidst på, hvad der virker bedst til casen.

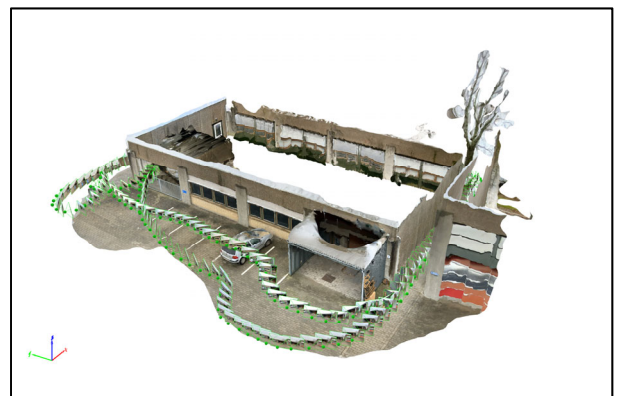
Test med stilbilleder

Første forsøg blev udført på Tommerupvej 1 hvor der blev lavet en række forsøg med både iPad og Sony kamera. Bygningen er en simpel bygning - firkantet med fladt tag. Ved testen viste det sig at metoden hvorpå billederne tages er utrolig vigtig at overholde, for at programmet har nogen ordenligt at arbejde med. I artiklen omkring Notre Dame i vores Review afsnit blev der brugt en masse forskellige billeder og med dette havde vi en forventning om at vi blot kunne tage en masse tilfældige billeder og lægge dem

ind i programmet. Det var ikke tilfældet og det viste sig, at det var utrolig vigtigt at tage systematiserede billeder. I de viste forsøg er der blevet taget billeder systematisk med forskellige metoder. Den første metode der blev udført er, hvor man flytter sig sidelæns på bygningen ca. 3 m pr lokation. Ved hver lokation tages der flere billeder således billedmaterialet dækker hele bygningen. Ved anden metode går man langs med bygningen med ca. 2-3 meters distance til ydervæggen. Her tages billeder skråt ind på bygningen i "gåretningen". Denne proces gentages 2 gange hvor anden gang går man den modsatte retning end gang 1. Begge metoder virkede fint, men det viste sig at metode 2, hvor man blot går langs bygningen og tager billeder, var langt hurtigere. Med denne metode kom man heller ikke til at glemme at tage billeder enkelte steder, som det viste sig at der var risiko for ved metode 1.



Billede 1: Flere billeder pr. 3 m i forsøg 1

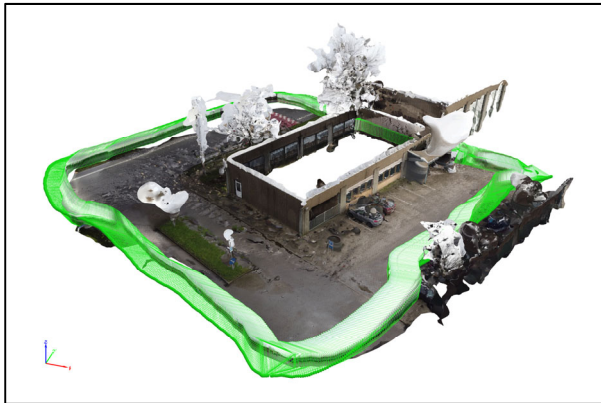


Billede 2: Vidvinkel billeder langs facade i forsøg 2

Test med video

I testen med video blev der brugt Sony kamera og DJI osmo pocket. Med testen ville vi prøve at se om tiden

der blev brugt på indhentning af data kunne reduceres. Altså om man kunne indsamle god nok data til at kunne lave en fotogrammetrisk model, ved at gå en runde omkring bygningen og filme undervejs. Testen viste sig at holde stik. Det viste sig at være væsentlig hurtigere at optage film end at tage billeder systematisk. Ulempen viste sig også i resultatet. Kvaliteten og skarpheden af modellen var knap så god som når der blev taget stillbilleder. Dette skyldes pixelkvaliteten af videobilledet er en del lavere end med stillbilleder, hvor kameraet kan udnytte sensorens fulde kvalitet.



Billede 3: Her ses de mange billeder der er trukket ud fra video fra DJI Osmo Procket

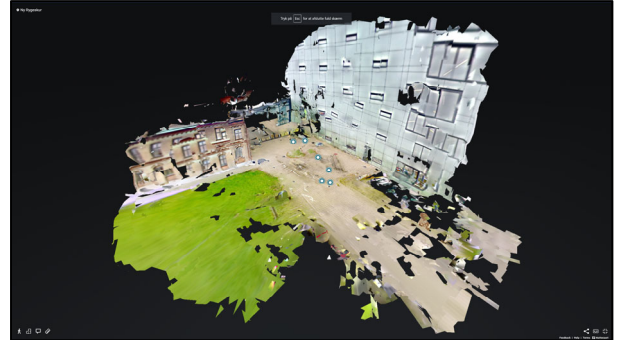


Billede 4: Detaljeringsgrad af model

Test med Matterport

Matterport er lavet til indvendige registreringer af bygninger, men i dette projekt ville vi alligevel lave en test for at se hvordan udstyret og softwaren yder i udendørs miljøer. I denne test har vi haft en gruppe studerende til at teste systemet udendørs. I forsøget viste det sig at Matterport kan bruges i mindre grad udendørs. For at få et tilfredsstillende resultat kræver det at udstyret kan "se" vægge og bygge modellen op fra og

et forholdsvis fladt gulv. Testen blev udført i et gårdrum hvor bygningerne der er lokaliseret i en U-form blev tydelig modelleret, mens der er udfordringer med terræn og niveauspring. I testen er der et område med trapper og det har Matterport svært ved at genskabe.



Billede 5: Gårdrum i Matterport modellen



Billede 6: Trappe mangler ved niveauspring

Test med Pix4Dcatch og iPad pro m. lidar

Pix4Dcatch er udviklet til digital registrering af bygningsudsnit, huller i jorden eller lignende - udendørs. Men vi ville teste og se hvor langt systemet kan skubbes. I testen af systemet er der udført test med flere cases. I første test har vi registreret et bygningsudsnit af en dør hvor der er trappe og udsmykning i murværket. Det viste sig at være ret succesfuldt. Modellen er meget overbevisende og tolerancerne er inden for ca. 5 mm i forhold til virkelige mål.



Billede 7: Model af indgangsparti



Billede 9: Komplet Pix4Dcatch model



Billede 8: Præcision af model



Billede 10: Unøjagtighed mellem start- og slutpunkt

I anden test er udstyret presset lidt længere. I denne test er der forsøgt at digital registrere et helt hus, altså hele vejen rundt for at møde startpunktet. Da modellen var behandlet viste det sig ved første øjekast at modellen virker ret overbevisende, dog viste det sig når man kiggede nærmere på overlap mellem start og slut kunne man godt se at systemet "skrider" over større afstande. Altså start- og slutvæg ikke lå lige oven på hinanden. Men tages denne udfordring i betragtning ved en videremodellbearbejdning vil der godt kunne tages forbehold for dette i optegningen.

Delkonklusion

Når vi betragter de overståede test omkring udvendig registrering, ser vi at brugen af stillbilleder til fotogrammetri er et ret stærkt værktøj og kan bruges til at lave modeller i ret høj kvalitet. Ulempen ved brugen af stillbilleder til fotogrammetri er at brugeren skal være ret stærk til brug af den rette metode. Personen skal vide hvor begrænsningerne ligger og hvilke faldgrupper der er. Derfor er fotogrammetri med stillbilleder ikke et system, man kan bruge som utrænnet, da det kræver træning og vedholdenhed. Når samme metode bruges med video lettes sværhedsgraden i indsamling af data men kvaliteten af data bliver forringet og modellen bliver ikke af lige så høj kvalitet som hvis kameraet tager stillbilleder, hvor den fulde opløsning benyttes. Når der laves fotogrammetri med video eller stillbilleder skal man være opmærksom på, at modellen ikke automatisk er skaleret og der skal derfor laves kontrolmål på stedet som modellen efterfølgende kan skaleres efter. Når vi kigger på test med de automatiserede software til fotogrammetri kan vi se at de er lavet til specifikke

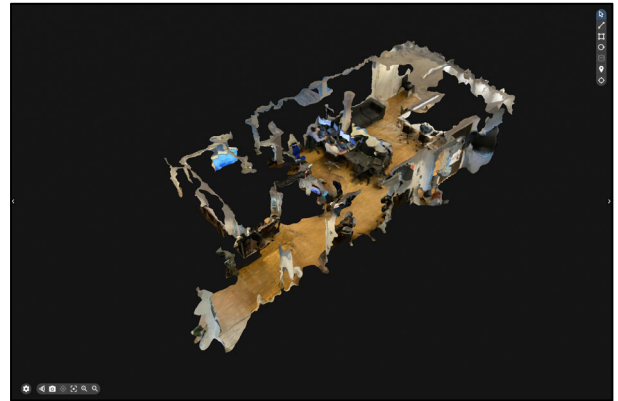
formål. Mætterport kan i meget begrænset omfang anvendes udendørs og kan ikke anbefales til denne type opgaver. PIX4Dcatch er et meget overbevisende system hvor hvis man bruger en iPad eller iPhone med LiDAR sensor kan man opnå et ret præcist og overbevisende model. Pix4Dcatch er lavet til registrering af mindre områder og det kan godt ses i forsøget med registrering af en hel bygning, men Pix4Dcatch kan i høj grad anbefales brugt når der skal registreres mindre områder på bygninger eller gravearbejde.

4.3 Forsøg med indvendig registrering

I de følgende forsøg bliver der arbejdet med hvordan man kan opnå et godt resultat og en simpel arbejdsgang med indvendig digital registrering. Vi har lavet forsøg af manuel og automatiseret karakter og konkludere til sidst hvad der virker bedst i vores tilfælde.

Test med stilbilleder

I denne test er der blevet brugt Sony kamera med 18-55 objektiv og iPad Pro med vidvinkel. I første test med Sony kamera viste det sig at metoden hvorpå der tages billeder er virkelig vigtig og der kan være mange faldgrupper. Når der tages billeder indendørs med 18-55 mm objektiv og hvor der blev anvendt 18 mm (vidvinkel), skal der rigtig mange billeder til at dække alle områder af et rum og modellen skal efterfølgende korrigeres med "Ground control points" for der ikke er for mange flader og objekter der ligger forskudt af hinanden. I anden test blev der brugt iPad Pro med ultravidvinkel altså med et kamera som får "mere med" pr. billede end i første test. Det viste sig at Pix4Dmapper havde væsentlig nemmere ved at behandle data fra iPad'en med ultravidvinkel end billederne fra Sony kameraet. Der skulle ikke laves korrektioner efterfølgende da programmet i realiteten skulle bruge færre billeder til at lave samme model.

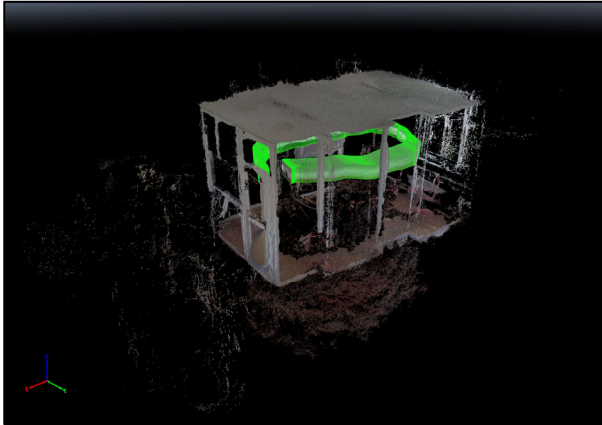


Billede 12: Model fra forsøg med iPad wide kamera

Test med 360 graders billeder

Da første forsøg viste at det var bedre at have så store områder med på billederne som muligt lavede vi en test med 360 graders kameraet Insta360 One X. I testen ville vi registrere et rum for at se om vi hurtigere kunne komme frem til et resultat. Første forsøg blev udført med stilbilleder og resultatet var slet ikke som vi havde regnet med. Selvom det virkede som om at Pix4Dmapper supporterede 360 graders kameraet var der en del udfordringer med stilbilleder. Det skyldes formentlig den systematik hvorpå billederne blev taget. Der var formentlig for langt imellem billederne. I andet forsøg blev der filmet med 360 kameraet og automatisk trukket billeder ud fra videoen vha. Pix4Dmapper. Dette resulterede i rigtig mange billeder og en meget lang efterbehandlingstid. På billede 13 kan resultatet ses og den har fornuftig optegnet gulv, loft og hjørner, men vægflader udeblev, formentlig pga. de er hvide.

I artiklen omkring fotogrammetri med 360 graders kameraer har de brugt en anden software end den vi har tilgængelig, og det kan med stor sandsynlighed være dette der er årsagen til vores fejlede resultat. Hvis man vil anvende 360 graders kameraer til indvendig fotogrammetri skal der undersøges nærmere om specifikt udstyr og software passer ordentligt sammen.



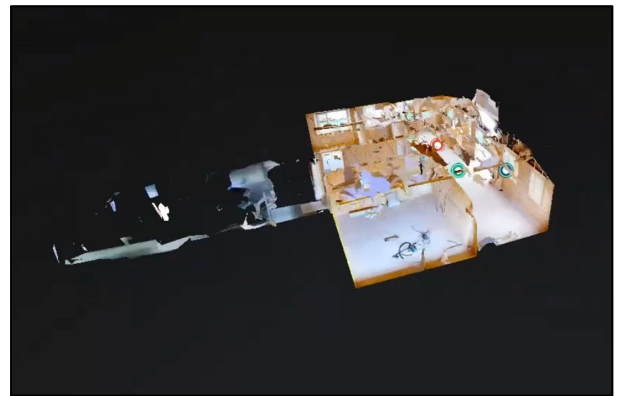
Billede 13: Rum modelleret ud fra 360 video

Test med Matterport

I testen med Matterport er udstyret og platformen brugt med to forskellige metoder. Første metode er blot at holde kameraet fysisk med en stang og rykke sig ca. 1,5 – 2 m pr. billede. Ved anden metode blev der brugt en trefod og kameraet kunne derfor stå selvstændigt og fjernstyres med en telefon og derpå tage billeder uden at brugeren skygger for bygningen. Det viste sig, at man med metoden med trefod opnåede væsentlig bedre resultater end hvis kameraet blev brugt håndholdt. Årsagen skyldes dels at personen ikke skyggede for bygningen og der var en større sikkerhed for at billede blev taget i samme højde hver gang. For at opnå et endnu bedre resultat viste det sig at hvis kameraet blev holdt i en højde midt mellem loft og gulv blev modellen endnu bedre. Det ses i test 3 udført af en studerende på bygningskonstruktørstudiet. Generelt kan det siges at med brugen af 360 kamera med Matterport er usikkerheden er forholdsvis høj og fejlraten i modellen kan ligeledes være høj, hvis ikke billederne til modellen planlægges nøje og disciplinen holdes. Men det skal dertil siges, at hvis man bruger den rette metode disciplineret kan man opnå gode brugbare modeller som kan understøtte kommunikation omkring en bygning på et højere niveau end med traditionelle 2D billeder.



Billede 14: Forsøg 2 lavet med kamera i samme højde



Billede 15: Test 3 lavet med kamera midt mellem gulv og loft.

Test med Pix4Dcatch

Ifølge Pix4Dcatch er programmet ikke lavet til indvendig brug, men vi lavede alligevel test for at se om det kan bruges til indvendige rum. Vi lavede en række test i udvalgte rum, men løb ind i så mange udfordringer så vi måtte erkende, at softwaren ikke kan bruges til denne type opgaver.



Billede 16: Pix4Dcatch model forkert sammensat

Delkonklusion

Når vi kigger på de ovenstående test omkring indvendig registrering ses det tydeligt at Matterport er utrolig velegnet til indvendig registrering af bygninger. Det kræver dog planlægning og disciplin i sin måde at bruge værktøjet på, men når dette er gjort kan der produceres gode 3D modeller, som er brugbare og informative til efterfølgende brug. I testen med fotogrammetri med iPad med ultrawide objektiv viste sig at man også kan opnå nogle gode resultater. Arbejdsgangene med Matterport viser sig dog at være den traditionelle fotogrammetriske arbejds metode overlegen.

4.4 Forsøg med områderegistrering

Områderegistrering er inkluderet i dette arbejde for at se bygningsmasse i et større sammenhæng. Der er brugt en drone af mærket DJI Mavic Pro 2. En nøje udvalgt drone som supporteres af mange systemer. Testene er udført i både manuel og automatiseret form. I de manuelle test er der anvendt softwaren Autodesk ReCap Photo og i de automatiserede test er der anvendt Pix4Dcapture og Pix4Dcloud til efterbehandling.

Test med video

I denne test er der fløjet på en byggesag, hvor der er anvendt video til indsamling af data. Der er optaget video i 4K opløsning og fløjet i to cirkler omkring bygningen i to forskellige højder. Testen viste sig også her at være succesfuld og der blev produceret en god informativ model. Ulempen ved at bruge video var at opløsningen ikke var nær så god som ved brug af stillbilleder og modellen ikke automatisk blev skaleret til virkeligheden.



Billede 17: Resultat af test med video

Test med stillbilleder

I testen med stillbilleder er der fløjet over Højerup Gamle Kirke ved Stevns klint. Her er der fløjet sideværts på kirken og taget ca. 50 billeder med en rimelig stor distance mellem drone og kirke. Resultatet er blevet ganske godt og alt efter hvad man skal bruge modellen til så virker det godt. Dog skal det bemærkes at når der zoomes ind på bygningen så er der uskarpheder omkring kanter og hjørner. Dette skyldes forhold under fotografering og objektivets kvalitet. Modellen er automatisk skaleret, da dronen gemmer GPS data i de enkelte billeder, som programmet bruger til at skalere efter.



Billede 18: Resultat af test med stillbilleder

Test med Pix4Dcapture

I denne test er der anvendt Pix4DCapture app'en til iPhone. Denne app kan automatisere arbejdet med droneflyvning, hvor der i appen kan vælges opgaver efter formålet og om der skal laves 3D eller 2D på en opgave - "oblique" eller "nadir". Til vores test er der valgt 3D opgave i et større område for at simulere en mindre bydel med lavtliggende huse. Testen er udført på Masnedøfortet på Masnedø ved Vordingborg. Et område som er nemt at komme til at flyve i, da der er beliggende uden for bebygget område og der nemt kan overskues om der er mennesker i området under flyvningen. I første test er der blevet anvendt standardhøjde fra app'en (30 m). Indsamling af data gik hurtigt. Ca. 20 min fra udpakning af drone til den var landet igen. Resultatet blev godt, dog er der nogle uskarpheden når man zoomer ind på bygninger. Men utrolig brugbart til område visualisering, vurdering af terrænhøjder over længere afstande og i det hele taget få den virkelighed med hjem som danner rammerne om et projekt eller områdeplanlægning. I anden test blev der fløjet samme sted men med en lavere flyvehøjde (20 m). Flyvningen tog en del længere tid og flyveområdet blev indskrænket en smule fra første flyvning. I anden test tog den også væsentlig flere billeder da dronen ikke havde lige så stor "overblik" over

området i forhold til første test. Resultatet af anden test var ret opsigtsvækkende. Skarphe den var væsentlig forøget og modellens kvalitet var højnet betragteligt.

For at trykprøve udstyret blev der lavet endnu en test på et hus med forholdsvis høje omkringliggende træer i et tæt miljø. I denne test viste det sig at droneflyvning generelt på denne type opgave kan være udfordrende da modeller kun kan laves ud fra hvad der kan ses, og hvis bygningen ikke kan ses, så kan modellen heller ikke laves.



Billede 19: Resultat af test 1



Billede 20: Sammenligning af test 1 og 2



Billede 21: "Skygger" i model pga. høje træer

Delkonklusion

I de ovenstående test omkring områderegistrering viser det sig, at alle forsøg virkede ret godt hvis de rette forudsætninger er tilstede. I de manuelle flyvninger skal dronepiloten holde tungen lige i munden og tænke en del over hvordan billeder bliver taget med hvilken afstand. Dette kræver træning, erfaring og ikke mindst tid. Den automatiserede flyvning viste sig at være utrolig effektiv. Dronen skulle ikke styres undervejs da den selv indsamlede de mest optimale data og på baggrund af dette producerede en god og brugbar model. Da vi trykprøvede systemet i en test med høje træer omkring bygningen viste det sig at når forudsætningerne for gode billeder ikke er til stede bliver resultatet derefter. Man skal altså nøje overveje registreringsprojekter ud fra hvilke værktøjer der er mest anvendelige. I tilfælde med høje træer tæt samt var registrering med drone ikke optimal.

4.5 Forsøg med case: Birkebjergparken

Tommerupvej 25

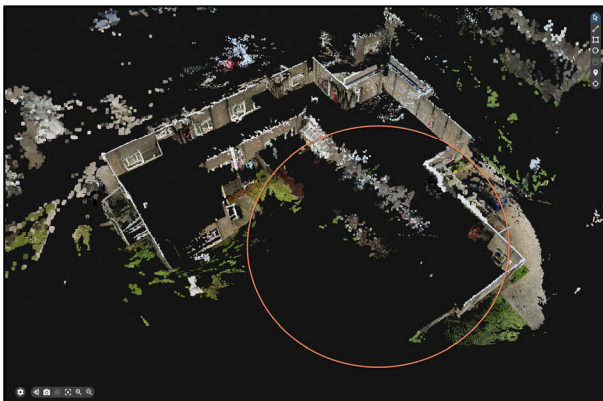
I dette forsøg vil vi forsøge at anvende erfaringen fra alle de ovenstående tre testområder for at lave den mest optimale digitale registrering med fotogrammetri. Casen er afgrænset til at lave udvendig registrering, da vi ikke havde mulighed for at komme ind i bygningen da bygningen var udlejet af private lejere. Bygningen Tommerupvej 25 er en bygning i ét plan, men med en forholdsvis kompleks grundform. Vi har valgt at lave et forsøg med stillbilleder og automatiseret med Pix4Dcatch og til sidst et referencescan med en 3D laserscanner for at holde registreringerne op imod dette.



Billede 22: Udvalgt bygning

Forsøg med stillbilleder

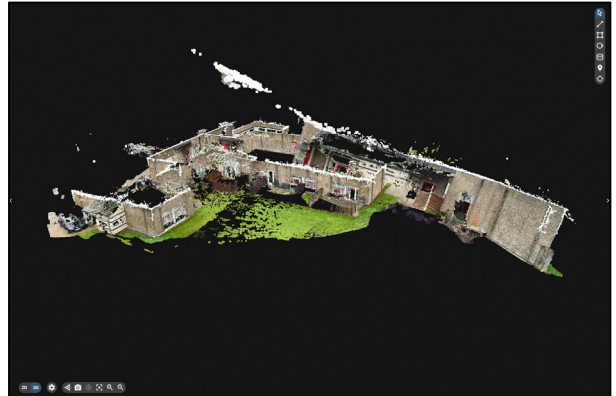
I forsøget med stillbilleder er der anvendt iPad Pro med ultravidvinkel da vi vurderer den er sammenlignelig med resultaterne der kan tages af den iPhone Pro, som mange alligevel har med på farten. iPad pro'en viste gode resultater i den manuelle fotogrammetri med dens ultravidvinkel kamera. Billederne er taget med en afstand på ca. 2 m fra bygningens væg og herefter blev der gået langs bygningens ydervæg i almindeligt tempo, hvor der blev taget billeder kontinuert med ca. 1 sek interval og for ca. hver meter. Ved første øjekast virkede det til at dele af modellen kunne bruges. Det kunne den egentlig også, men i meget mindre grad end først antaget. Resultatet viste sig ikke at blive lige så godt som ved de indledende tests. I billedet herunder kan det tydeligt ses at softwaren har udfordringer med at samle modellen ordentligt i komplekse områder.



Billede 23: Komplekse områder udeladt fra modellen

Forsøg med Pix4Dcatch

I dette forsøg vil vi udnytte Pix4Dcatch's automatiserede proces for at se om det kunne gøre modelarbejdet nemmere og korrekt skaleret. I dette forsøg viste det sig også at bygningens kompleksitet var en hæmsko for et succesfuldt resultat. Selvom der systematisk og omhyggeligt blev taget billeder kunne det ses at programmet hurtigt mistede orienteringen efter en række hjørner der resulterede i en model der ikke kunne bruges til noget som helst.



Billede 24: Model sammensat forkert

Referencescan med 3D Laserscanner (Leica BLK360)

Referencescannet tegner bygningen korrekt i korrekt skalering med en tolerance på ca. 5 mm. Et værktøj som virker rigtig godt med meget lav fejlrate.



Billede 25: Punktsky udarbejdet med Leica BLK360

Delkonklusion

Selvom metoderne til fotogrammetri virkede rigtig fint i de indledende tests, så viste det sig at de virkede knap så godt når kompleksiteten på bygningen blev øget. Derfor kræver det en vurdering af det enkelte projekt inden der anvendes fotogrammetri. I vurderingen skal der tages højde for kompleksitet og der skal

risikovurderes hvor det kan gå galt i dataindsamlingsarbejdet. Det må konkluderes at udvendig fotogrammetri godt kan bruges, men det kræver træning, erfaring og vedholdenhed for at kunne opnå tilfredsstillende resultater. Det er altså ikke et "out-of-the-box" produkt der virker tilfredsstillende med det samme.

4.6 Videreformidling af data

For at videreformidle modellerne til brug for optegning og registrering har vi afprøvet nogle online systemer for at se hvor godt de virker i kommunikationsøjemed.

Fotogrammetrisk model

Hvis den fotogrammetriske model bliver produceret med Pix4Dcloud er den ret nem tilgængelig for slutbrugeren. Modellen kan nemt deles igennem deres online platform og der er mulighed for at hente modellerne ned på sin computer til videre behandling i f.eks. Revit. Det skal dog siges at ved alle fotogrammetriske modeller taget med almindeligt kamera er disse ikke målfaste. De er automatisk målfaste hvis de bliver taget med drone som indlægger koordinater i de enkelte billeder. På billede 26 kan man se, hvordan man kan anvende simple værktøjer til opmåling og inspektion.

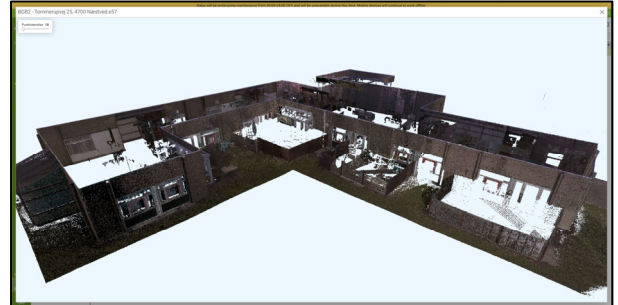


Billede 26: Automatisk skaleret dronemodell med opmålinger i Pix4Dcloud

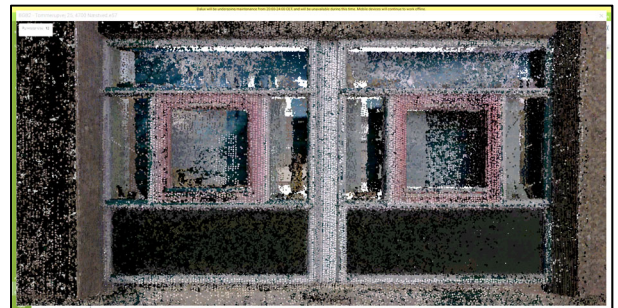
Punktsky

I projektet blev referencemodellen ligeledes brugt til at simulere formidling af en succesfuld model. En punktsky fra en 3D laserscanning fylder nemt 10-15 GB og her er det optimalt at kunne bruge en platform til netop denne formidling. Dalux arbejder løbende med udvikling af deres produkter og de havde netop integreret en punktsky-viser. Denne viser brugte vi til formidling. Modtager var tilfreds. Dog fremstår punktskyen lidt mørk, men om årsagen ligger i programmet eller ved dataindsamlingen er ikke yderlig undersøgt. At modellen fremstod mørkt var ikke et stort problem for aflæsningen af modellen. Ved granskning af et vindue i

punktsky modellen i Dalux viste det sig at være en ulempe kun at have punktskyen og ikke en kombination af punktsky og mesh som det er i Pix4Dcloud da detaljegraden er svær at se i sin helhed.



Billede 27: Punktsky af hele modellen vist i Dalux



Billede 28: Udsnit af vindue fra punktsky

Delkonklusion

Erfaringerne med Pix4Dcloud til formidling af fotogrammetriske modeller viste sig at være ret gode. Platformen er nem at tilgå og er intuitiv at bruge. Materialet kan nemt ses og der er indbygget små værktøjer hvor man kan måle, inspicere og sætte små digitale post-it's direkte i modellen. Et godt værktøj til kommunikation og overblik for slutbrugeren.

5 Konklusion

Fotogrammetri viste sig at være sværere end først antaget. For at opnå gode resultater skal man være utrolig struktureret i sin måde at indsamle data på. Dette kræver træning, erfaring og vedholdenhed. Når dette er opnået vil man kunne bruge metoden til mange opgaver.

Fotogrammetri er et alternativ til 3D laserscanning, men med en noget lavere præcision og med højere fejlrate. Det skal dog siges at når man kigger på den

brede kam må det også konkluderes at under emnet fotogrammetriske værktøjer findes der ikke ét værktøj som passer til alle opgaver. Man bliver nød til at vurdere opgaven fra gang til gang og på den baggrund vælge sit rette værktøj.

I de indledende tests viste det sig at når det kommer til at registrere udvendigt i "jord-niveau" er den manuelle fotogrammetriske proces med et ultravidvinkel kamera det mest optimale. Når man kigger på arbejdsgangen med Pix4Dcloud, hvor man kan sende billeder direkte til skyen fra iPhone eller iPad til behandling og efterfølgende deling, fungerer det ret godt. Udfordringerne er at få indsamlet data i en sådan struktureret og optimal form at softwaren har de bedste forudsætninger for at generere en model.

Når det kommer til indvendig digital registrering er manuel fotogrammetri mere kompleks og fejlraten væsentlig højere. Der skal desuden laves en del korrigering for produktet bliver godt. I dette tilfælde kommer den automatiserede digitale registrering med Matterport til sin ret. Matterport med 360 kamera fejer alle modstandere af vejen når det handler om indvendig fotogrammetri. Matterport har dels også en meget intuitiv platform, hvor det er nemt at tilgå modellerne, måle, markere og efterfølgende dele med slutbrugere. Ulempen ved Matterport er at man ikke har mulighed for at eksportere modellen til f.eks. punktsky eller mesh når man bruger 360 kamera til deres platform. Dette kan løses ved at anvende deres eget producerede kamera "Matterport Pro 2" til ca. 25.000,-.

Ved områdescanning viser det sig at Pix4Dcapture og Pix4Dcloud er et "Out-of-the-box" produkt med meget høj succesrate. I testen med automatiseret flyvning på Masnedø brugte vi ca. ½ time på at områderegistere ca. 200 x 500 m uden fejl og med en god og brugbar model til efterfølgende brug. Det skal dog siges at i denne test var der ingen høje træer eller andre forhindringer. Det er en vurdering fra sag til sag om automatiseret dronflyvning er muligt og mest optimalt.

6 Referencer

Altman, S., Xiao, W., & Grayson, B. (22. September 2007). Evaluation of low-cost terrestrial photogrammetry for 3D reconstruction of complex buildings. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and*

Spatial Information Sciences, Volume IV-2/W4, s. 8.

Barazzetti, L., Previtali, M., & Roncoroni, F. (2018). *CAN WE USE LOW-COST 360 DEGREE CAMERAS TO CREATE ACCURATE 3D MODELS?* Hentet fra International Society for Photogrammetry and Remote Sensing: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2/69/2018/>

Greene, J. (2007). Building a 3D World One Snapshot at a Time. *Businessweek*.

Muriyoso, A., Koehl, M., & Freville, T. (1. September 2017). Acquisition and processing protocols for UAV images: 3D modeling of historical buildings using photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-2/W2*, s. 8.

Pérez Ramos, A., & Robleda Prieto, G. (27. Februar 2015). 3D virtualization by close range photogrammetry indoor gothic church apses. The case study of church of San Francisco in Bentanzos (La Coruña, Spain). *The International Archives of the Photogrammetry*, s. 6.