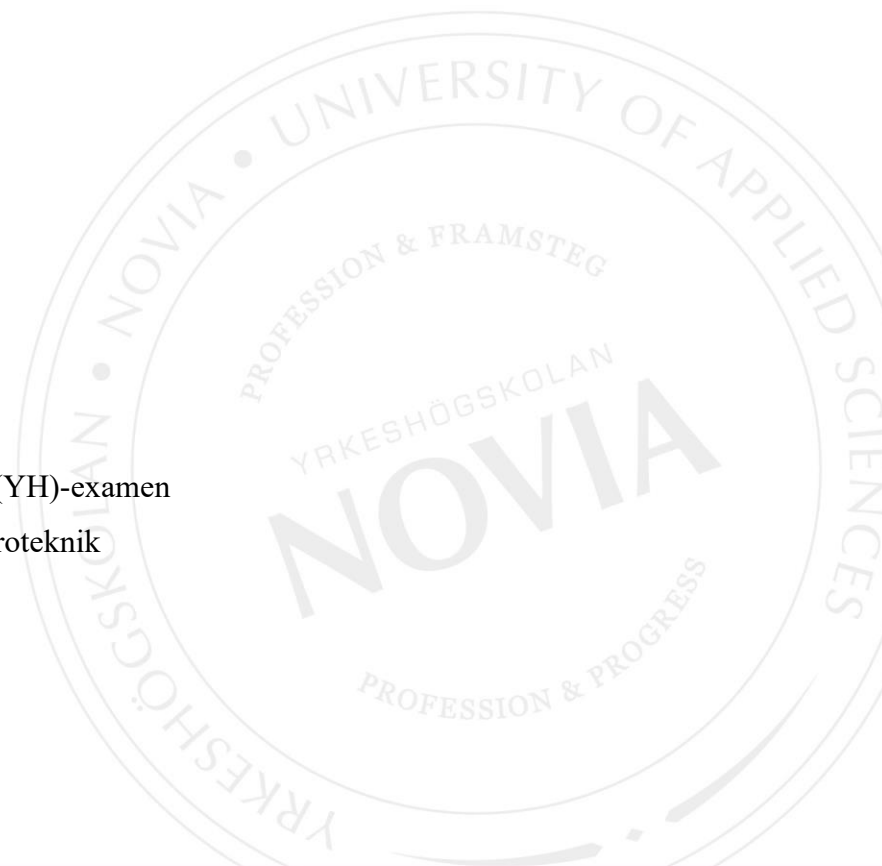


# 3D-skanner

## Framtagning av en digital 3D-modell

Tobias Selin

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen  
Utbildningsprogrammet elektroteknik  
Vasa 2016



## EXAMENSARBETE

Författare: Tobias Selin  
Utbildning och ort: Elektroteknik, Vasa  
Inriktning/alternativ/Fördjupning: Automationsteknik  
Handledare: Kaj Wikman

Titel: 3D-skanner Framtagning av en digital 3D-modell

---

Datum 23 april 2017

Sidantal 31

Bilagor 5

---

### Abstrakt

Detta examensarbete handlar om 3D-skanning och framtagning av digitala 3D-modeller. Syftet med arbetet var att minimera tiden för framtagning av digitala 3D-modeller för fysiska objekt. Dessa modeller kan sedan användas vid t.ex. 3D-printning. I arbetet redogörs bland annat för vilka tekniker som används vid 3D-skanning. Här berättas även om skanningsprocessen för fotogrammetri, som är den skanningsteknik som ligger som grund för arbetet.

Den praktiska delen av arbetet innefattar planering och tillverkning av en egen 3D-skanner. Skannern som tillverkas anpassas och ska fungera i samspel med en egen tillverkad 3D-printer. Arbetet berättar och beskriver även om vilka för- och nackdelar som kan finnas med att samtidigt vara beställare och utförare av ett examensarbete.

Som resultat av examensarbetet fastställdes en teknik för 3D-skannern och därav kunde utformning, teknisk funktion och design ritplaneras. Även en prototypprogramvara för skannern programmerades samt testskanningar gjordes med skild kamera för att kunna testa och utforska tredje partens datorprogram som hanterar skanningsdata.

---

Språk: svenska

Nyckelord: 3D-skanner, 3D-printer, Fotogrammetri

---

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Tobias Selin  
Degree Programme: Electrical Engineering, Vaasa  
Specialization: Automation  
Supervisors: Kaj Wikman

Title: 3D Scanner Development of a digital 3D model

---

Date April 23, 2017      Number of pages 31      Appendices 5

---

### **Summary**

This thesis is about 3D scanning and the production of digital 3D models. The purpose of the work was to minimize the production time for digital 3D models of physical objects. These models can then be used i.e. for 3D printing. Among other things, the work describes the techniques used for 3D scanning and the scanning process of photogrammetry, which is the scanning technique that forms the basis for this work.

The practical part of the work involves planning and manufacturing of a 3D scanner. The scanner manufactured is adapted to work in conjunction with a custom-built 3D printer. The work also describes the pros and cons of being able to be both the client and the performer for a degree project at the same time.

The result of the thesis was that a technique for the 3D scanner was established and therefor a design and technical functions could be planned. A prototype version of a scanner software was programmed and test scans were made with a separate camera to test and explore third-party computer programs that handles the scanned data.

---

Language: Swedish      Key words: 3D scanner, 3D printer, Photogrammetry

---

# Innehållsförteckning

1 Inledning .....	1
1.1 Mål och syfte .....	1
1.2 Avgränsning.....	1
2 Terminologi .....	2
2.1 Arduino.....	2
2.2 Mikrokontroller .....	2
2.3 SainSmart .....	3
2.4 Computer-aided design (CAD).....	3
2.5 STL.....	4
.....	4
2.6 G-kod.....	4
2.7 Agisoft Photoscan.....	5
2.8 Blender .....	5
2.9 Slic3r.....	6
3 Teori .....	7
3.1 3D-skanning .....	7
3.2 Skanningstekniker .....	7
3.2.1 Kontakt teknik .....	8
.....	8
.....	8
3.2.2 Kontaktfri (aktiv) teknik.....	9
3.2.3 Kontaktfri (passiv) teknik.....	10
3.3 Fotogrammetri .....	10
4 Utförande .....	12
4.1 Projektets inledning .....	12
4.2 Design och funktion .....	12

4.2.1 Material.....	13
4.2.2 Funktion.....	14
4.3 Resurser och begränsningar.....	15
4.4 Komponenter .....	16
4.4.1 Sainsmart (Arduino) .....	16
4.4.2 Stegmotor .....	17
4.4.3 Digital systemkamera .....	20
4.5 Programverktyg .....	20
4.6 Skanningsprocessen.....	21
4.6.1 Fotografering .....	21
4.6.2 Photoscan och punktmoln.....	22
4.6.3 3D-modell.....	23
4.7 Problematik.....	24
4.7.1 Automatisering .....	24
4.7.2 Skanning utan skanner.....	25
4.7.3 Pin mapping.....	26
5 Projekthanteringsaspekter.....	27
5.1 Beställare och utförare.....	27
5.2 Budgetering .....	27
5 Resultat .....	28
6 Diskussion .....	29
7 Källförteckning.....	30
8 Figurkällförteckning .....	31

# 1 Inledning

Detta examensarbete handlar om att studera olika 3D-skanningstekniker och tillverkningen av en egen 3D-skanner. Tidigare har en helt egen 3D-printer byggts i form av ett hobbyprojekt och för att kunna printa något överhuvudtaget så krävs en digital ritning i form av en 3D-modell. Dessa modeller kan skapas för hand i diverse ritprogram med hjälp av datorn. Skapandet och ritandet av dessa modeller kan vara mycket tidskrävande, så vid skapandet av komplexa modeller kan en 3D-skanner komma bra till hands.

Idén om att tillverka en egen skanner uppstod när jag försökte rita något så ”enkelt” som ett skyddsskal till en smarttelefon. På grund av telefonens utseende var det mycket svårt att få uppmätt dess dimensioner enbart med skjutmått och penna men med hjälp av en 3D-skanner kan nästan perfekta mätningar göras. Problemet är att kommersiellt tillgängliga skannrar som är tillräckligt noggranna för denna typ av ändamål kan vara mycket dyra.

## 1.1 Mål och syfte

Målet med detta arbete var att från grunden planera, designa och konstruera en fungerande tredimensionell skanner som fungerar i samspel med en 3D-printer. Syftet med arbetet var att minimera tiden för skapandet av komplexa digitala 3D-ritningar som används vid 3D-printning. Detta innebär att kunna skanna tredimensionella objekt som t.ex. en kaffekopp, och generera digitala tredimensionella modeller, som i sin tur ska användas vid en 3D-printning.

## 1.2 Avgränsning

Arbetets primära fokus begränsas till en egenkonstruerad 3D-printer och dess specifikationer. 3D-skannerns design och utseende samt funktion är skräddarsydd för den egna printern. Eftersom att jag själv är beställare för detta arbete och står för finansieringen av skannern, begränsas arbetet också av kostnaderna.

## 2 Terminologi

Terminologi avsnittet förbereder läsaren att lättare förstå och begripa vad detta arbete handlar om genom att förklara kortfattat betydelsen för de viktigaste termerna som nämns inom området för arbetet.

### 2.1 Arduino

Arduino är en öppen program- och hårdvara. Med öppen programvara menas att datorprogram vars källkod är öppen och det med andra ord innebär att det är fritt för vem som helst att använda, läsa, ändra eller vidare distribuera programvaran. Hårdvaran består av ett kretskort vars huvudkomponent är en mikroprocessor eller ett mikrochip. Den fungerar som en liten dator som är relativt lätt att programmera och modifiera. Arduino strävar till att vara så simpel som möjligt. Tack vare att

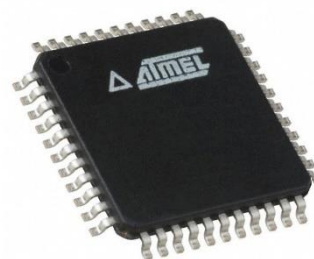


*Figur 1. En Arduino UNO mikrokontroller.*

Arduino har en öppen källkod är det lätt för användare och utvecklare att programmera, utveckla och modifiera befintlig programkod. Arduino kan användas till nästan all form av styrning som sker med hjälp av en dator, t.ex. robotstyrning eller någon form av systemövervakning. Användarna kan bestå av både hobbyentusiaster och professionella.

### 2.2 Mikrokontroller

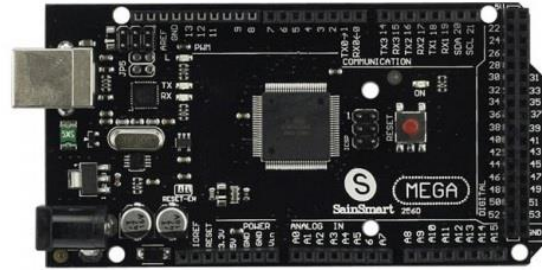
Mikrokontroller är en liten dator komprimerat på ett enda chip. Chipet eller mikrokontrollen innehåller en processor, minnen samt in- och utgångar. Dessa chip används ofta som huvudstyrenhet eller dator i inbyggda system (*Embedded system*). De är också mycket vanliga i olika gör-det-självt projekt där en mer avancerad styrning krävs som t.ex. robotstyrning.



*Figur 2. Atmel mikrochip.*

## 2.3 SainSmart

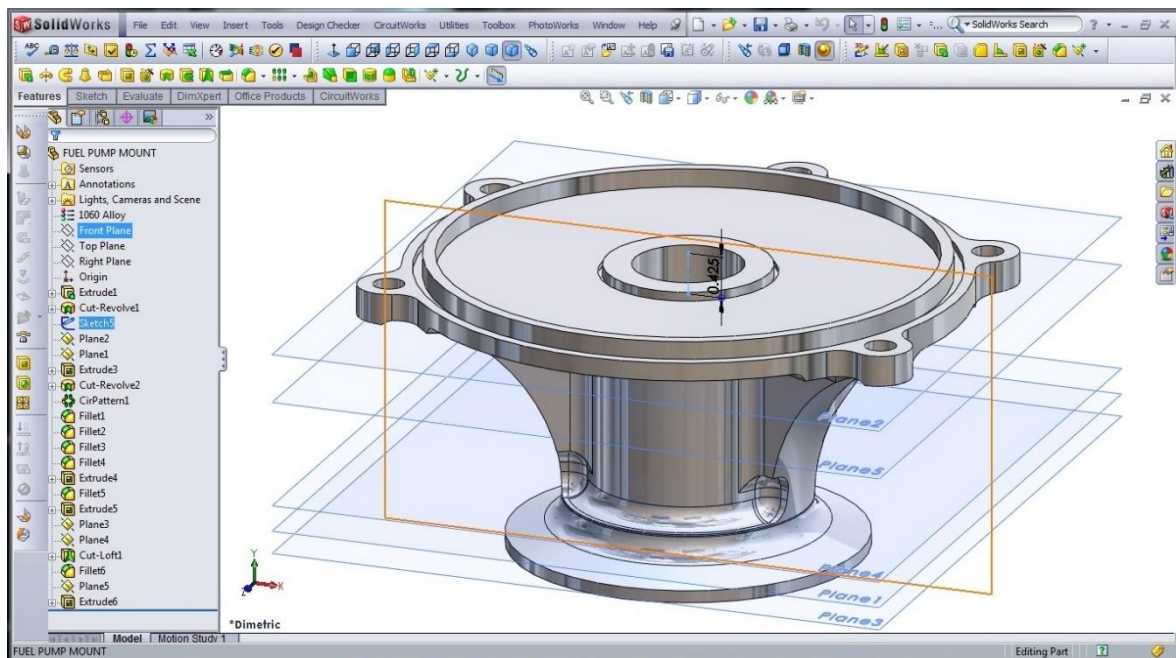
Sainsmart är ett företag som tillverkar och säljer öppen hårdvara produkter. De tillverkar och säljer egna modifierade versioner av Arduino och Raspberry Pi. De tillverkar också annan typ av elektronik så som robotar, CNC elektronik samt olika mätinstrument.



Figur 3. SainSmart AtMega2560.

## 2.4 Computer-aided design (CAD)

Förkortningen CAD står för *computer-aided design*. Med detta innebär att med hjälp av datorprogram rita och planera, analysera och modifiera samt dokumentera. Denna typ av program är CAD-program. CAD-program används för att effektivisera t.ex. en produkts tillverkning. Det finns både 2D och 3D CAD-program. SolidWorks och Autodesk: AutoCAD är exempel på CAD-program.

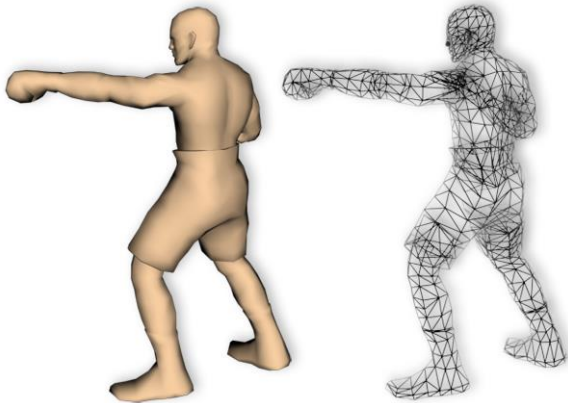


Figur 4. Skärmdump från programmet SolidWorks.



## 2.5 STL

STL är ett filformat som härstammar från en stereolitografi CAD-program som skapades av 3D Systems. STL-filen innehåller information om ett 3D-objekts geometriska utformning. Objektets färg och textur beskrivs inte i formatet. Filformatet används av produktionsmaskiner som t.ex. 3D-printrar och CNC-skärare.



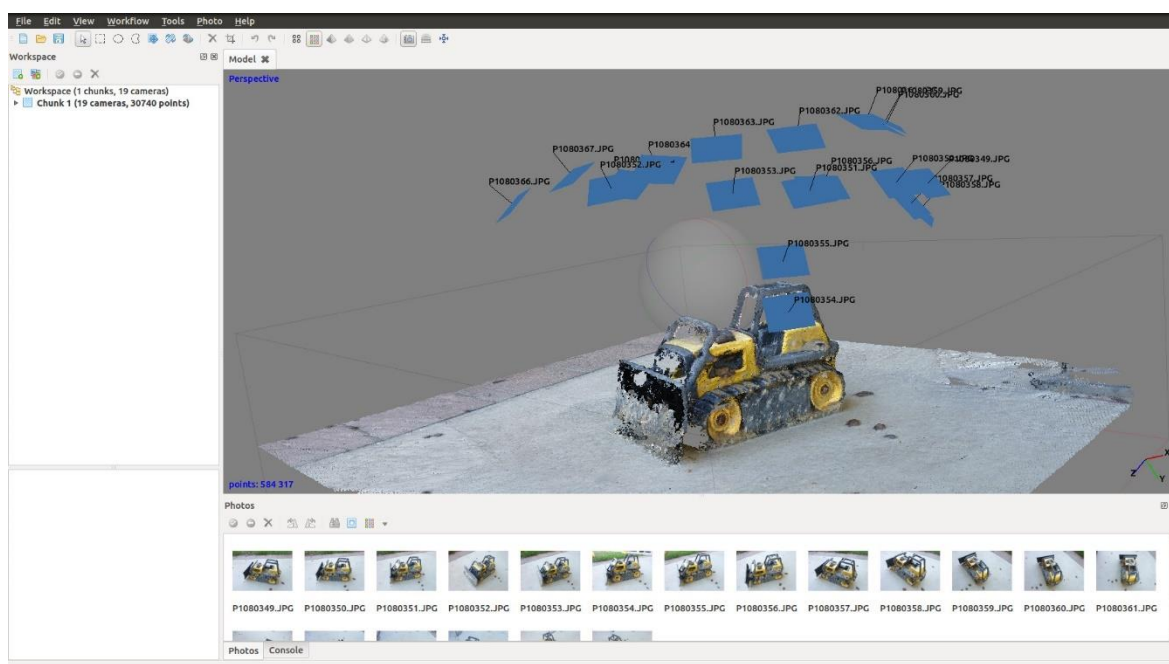
Figur 5. Figuren till höger är stl filformaterat av den till vänster.

## 2.6 G-kod

G-kod är ett språk där människan ger instruktioner åt en datoriserad maskin eller en så kallad NC-maskin, hur den ska t.ex. beskära ett föremål. NC står för *Numerical Control*. Språket berättar för maskinen om vart, hur och vilken rutt maskinen ska ta. Exempel på dessa kan vara koordinater, hastighet och närmaste rutt. G-kod är ett vanligt numeriskt kontrollspråk som används inom tillverkningsindustrin. Exempel på NC-maskiner är bl.a. CNC-skärare och 3D-printrar.

## 2.7 Agisoft Photoscan

Agisoft Photoscan är ett programverktyg som används för fotogrammetrisk processering av digitala fotografier. Fotografierna ordnas på ett sådant sätt att en tredimensionell figur kan genereras. Photoscan är ett licensierat program som kostar. Bilden nedan är en skärmdump från Agisoft Photoscan.



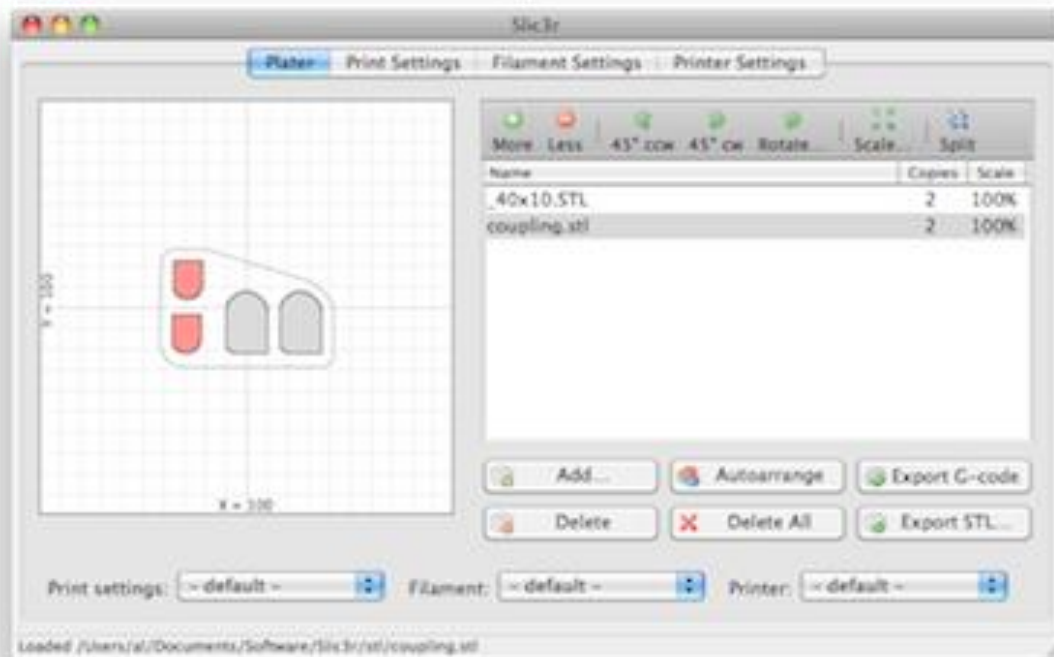
Figur 6. Skärmdump från programmet Agisoft Photoscan.

## 2.8 Blender

Blender är ett open source 3D-modelleringsprogram för datorer med operativsystemen Windows, Macintosh och Linux. I programmet finns verktyg som kan användas t.ex. för 3D-modellering, rendering, simulering och animering.

## 2.9 Slic3r

Slic3r är en öppen programvara som är utvecklat för en rad olika 3D-printrar. Programmet läser in t.ex. en stl-fil eller motsvarande fil för att sedan generera en g-kod (.g). Finjusterings och konfigurerings möjligheter finns för anpassning till specifika printrar för bättre resultat.



Figur 7. En skärmdump från programmet Slic3r.

## 3 Teori

Detta avsnitt berättar om vad 3D-skanning innebär samt att de mest väsentliga teorier kring tekniker som ligger som grund för 3D-skanning tas upp.

### 3.1 3D-skanning

3D-skanning innebär att en apparat eller en maskin, även kallad 3D-skanner, analyserar ett objekt och utför datainsamling i ett tredimensionellt plan. Data som insamlas är de synligt framträdande egenskaperna hos objektet som skannas. Dessa egenskaper är utformning och eventuellt färg.

När ett objekt väl blivit skannat så överförs de insamlade data över till en digital tredimensionell modell. Den insamlade data och dess typ beror på vilken typ av teknik som använts. Mera om dessa tekniker finns beskrivet i kapitlet om skanningstekniker. Med överföringen innebär att den insamlade data som t.ex. fotografier av ett objekt bearbetas i ett bildhanteringsprogram som har verktyg för att generera en 3D-modell. Modellen kan då analyseras eller redigeras med hjälp av avancerade modelleringsprogram som t.ex. SolidWorks och Autocad eller andra liknande CAD-program.

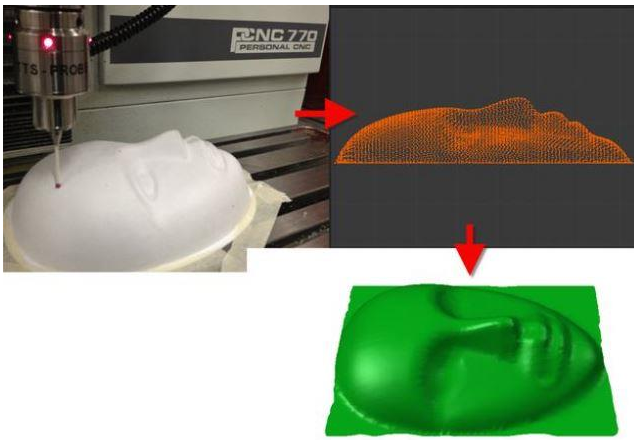
3D-skanning är en teknik inom tillverkningsindustrin, skanningen ger möjlighet till en snabbare metod för framtagning av exakta och precisa ritningar för befintliga föremål. 3D-skanning utförs inte enbart inom tillverkningsindustrin utan även inom kartläggning av geografiska områden. Även inom sjukvården används 3D-skanning som t.ex. vid tillverkning av tandställning eller tandproteser.

### 3.2 Skanningstekniker

Det finns många olika tekniker och metoder för att utföra en 3D-skanning. I detta avsnitt nämns inte specifika skannrar, utan mera om vilka typer eller metoder för hur själva datainsamlingen eller skanningen utförs. Dessa olika metoder används på olika arbetsområden. Några faktorer som kan bestämma vilken typ av skanning som ska utföras är; känsligheten hos objektet som ska skannas, vilken noggrannhet som efterfrågas samt kostnad. /5./

### 3.2.1 Kontakt teknik

Denna teknik baserar sig på fysik kontakt till det objekt som ska skannas. Detta innebär att en sond eller en ”probe” används för att mäta ut olika punkter på ett objekt. För att kunna bestämma mätpunkternas position så har sonden en relativkoordinat till en bestämd punkt. Med denna typ av skannrar är stationära maskiner vanliga. Kontakt baserade skannrar kan ha en mycket hög precision och ge noggranna mätningar. Som nackdel för denna teknik är att denna teknik är begränsad till t.ex. komplexa ihåligheter hos ett objekt som är svåra att nå samt de kan vara mycket dyra.



Figur 8. En kontakt sond skannar ett ansikte.



Figur 9. Exempel på hur en kontakt 3D- skanner kan se ut.

### 3.2.2 Kontaktfri (aktiv) teknik

Den kontaktfria tekniken skiljer sig mycket från den kontaktbaserade. Här används en sändare och en mottagare. Som sändarmedium används t.ex. ljus, ultraljud eller röntgenstrålning. Ofta använda är en form av laser eller vitt ljus. Mottagaren är ofta en kamera eller en motsvarande sensor.



*Figur 10. En x-ray skanner för bagage vid säkerhetskontroll, av tillverkaren HTDS modell 622XR.*

Två metoder inom den kontaktfria tekniken är Time-of-flight och triangulering. Med Time-of-Flight menas olika metoder för att mäta ett objekt eller en partikel att passera en viss sträcka i ett bestämt medium. Vid ToF (Time-of-flight) skanning handlar det om att använda sig av en laseravståndsmätare, där flygtiden för laserstrålen mäts. Mätningen utförs från att lasern tänds till att reflektionen från objektet når kameran. På så sätt kan man beräkna avståndet i och med att ljusets hastighet är känt. Fördelar hos ToF skanning är att skanningen kan utföras över långa avstånd, till och med upp till kilometers avstånd. Nackdelen däremot är att tekniken inte är lämplig för skanning av detaljer på millimeters nivå, att på grund av ljusets höga hastighet blir det svårt att beräkna exakt flygtid. /12./

Triangulering är också en metod där avståndet bestäms, det som skiljer är hur avståndet bestäms. Med denna metod bestäms avståndet när lasern reflekteras från objektet till kameran och beroende på var på mottagaren strålen landar, kan beräkningar göras för att fastställa avståndet. Fördelarna och nackdelarna för denna teknik är näst in till motsatsen till ToF-skanning, där avståndet är nackdelen och noggrannheten är fördelen med denna.

### 3.2.3 Kontaktfri (passiv) teknik

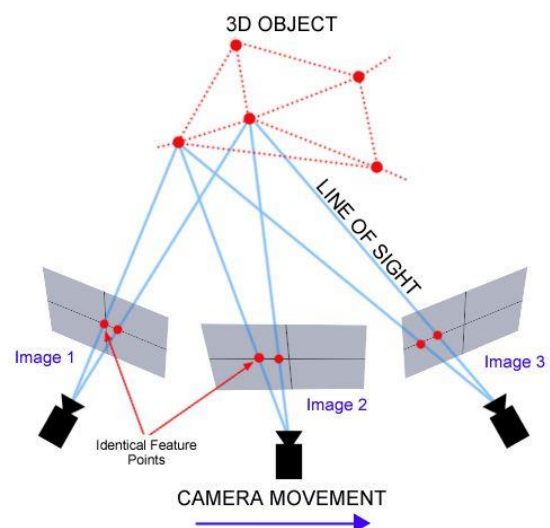
Den kontaktfria passiva skanningstekniken är en teknik där en kamera används som datainsamlare. Där denna teknik skiljer sig från den föregående är att det inte skickas ut något ljus eller liknande, utan här används belysningen från omgivningen. Denna skanningsteknik är en relativt förmånlig teknik då enbart en kamera och omgivningsbelysning behövs. En metod för denna teknik kallas fotogrammetri. Följande avsnitt beskriver vad som avses med fotogrammetri. /1./ /3./



Figur 11. Exempel på en större 3D-skanner av teknik typen kontaktfri passiv. BIG ALICE av 3DCOPYSYSTEMS.

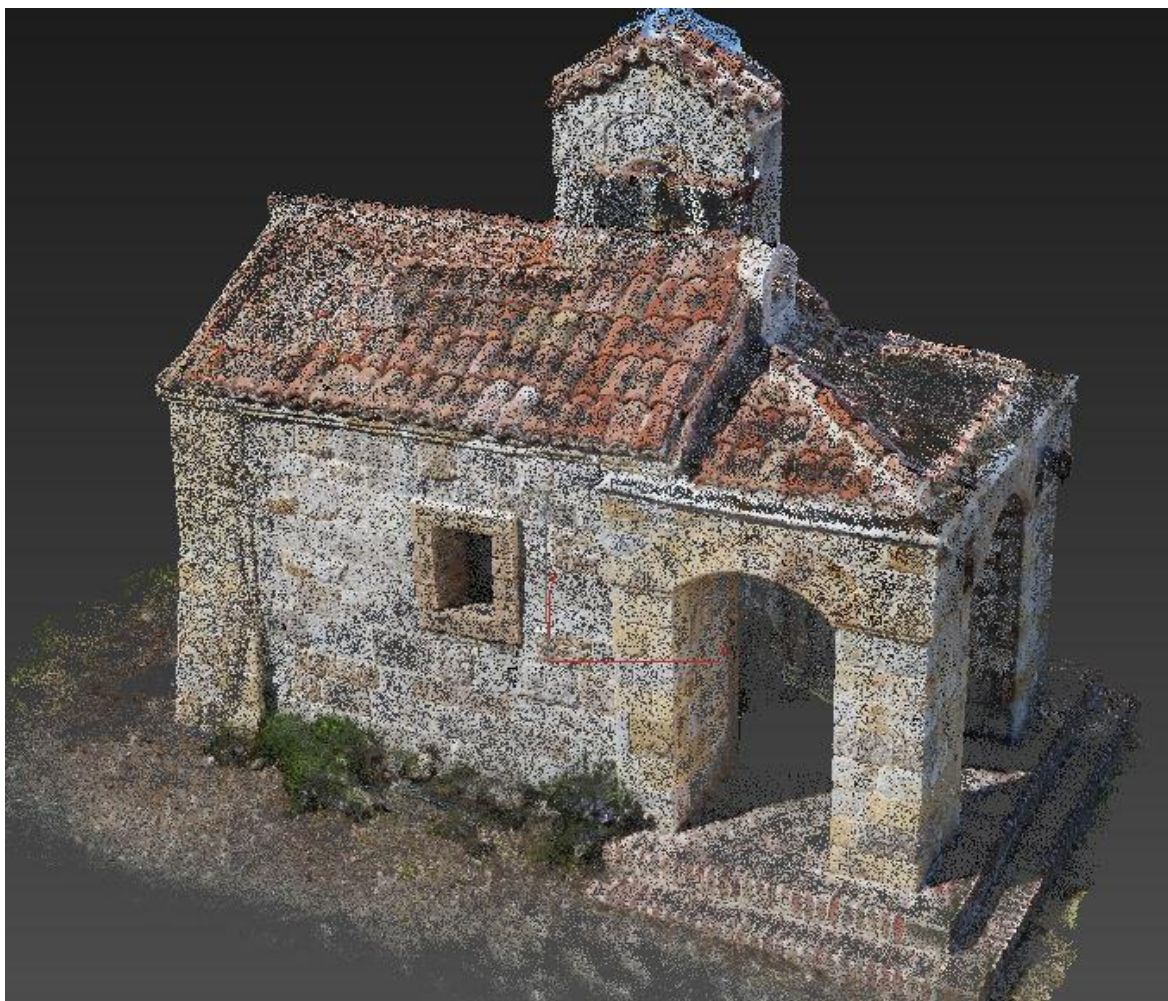
## 3.3 Fotogrammetri

Fotogrammetri är en teknik eller metod som används inom tredimensionell skanning. Med denna metod avses att mätningar görs för tredimensionella objekt med hjälp av en kamera. Dessa mätningar utförs genom flertalet tagna bilder från olika vinklar. Se figur 4. Vid kartläggning av landskap och landområde, så är just denna metod användbar. /3./



Figur 12. Princip för fotogrammetri.

De insamlade bilderna placeras sedan så att detaljerna som fångats med kameran överlappar varandra. De sammanfogade detaljerna bildar ett så kallat punktmoln. Se figur 2. Det finns flera olika metoder av just fotogrammetri, en vanlig metod kallas stereofotogrammetri. Denna metod baserar sig på användningen av stereobilder, d.v.s. bild par som överlappar varandra.



Figur 13. Ett punktmoln av en skannad byggnad.

Stereofotogrammetri kan delas in i tre olika delar. Dessa delar är inre orientering, relativ orientering samt absolut orientering. Inre orientering handlar om att fastställa kamerakonstanten. Kamerakonstanten bestäms av avståndet mellan kameraobjektivets mittpunkt och bildplanet. Den relativa orienteringen är att bilderna placeras relativt till varandra så att de sammanfaller och bildar en stereobild. Den tredje delen hos stereofotogrammetri är absolut orientering, som handlar om att ifall ett objekt som ska mätas eller skannas, vars detaljer har bestämda koordinater, så anpassas och justeras bilderna till dessa punkter.



## 4 Utförande

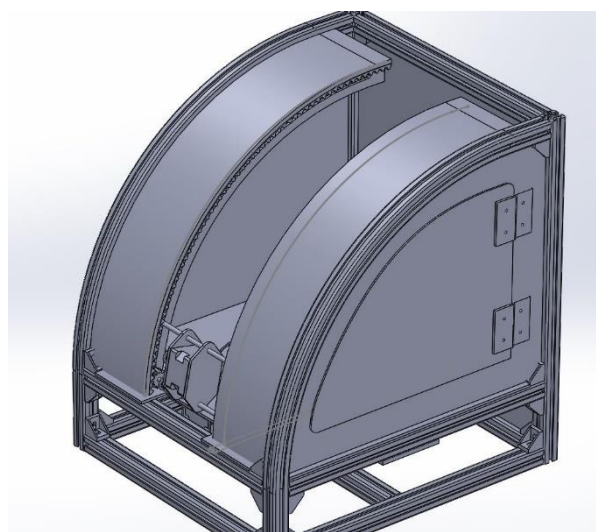
Detta kapitel berättar om den praktiska delen av arbetet. Här berättas om 3D-skannerns design, val av material och komponenter samt beskrivning av funktionsprincip och problem som uppstod under arbetet. I detta avsnitt beskrivs även skanningsprocessen i detalj.

### 4.1 Projektets inledning

Projektet inleds med att undersöka om vilka 3D-skanningstekniker som används både privat och inom industrin. Efter att undersökningen gjorts och vilken teknik skannern ska grunda sig på fastställts, inledde planeringen av vilka material och delar som skulle beställas. I och med detta kan en budget fastslås. Därefter påbörjades ritplaneringen i SolidWorks, där skannerns funktion och mekanik planerades.

### 4.2 Design och funktion

När det kommer till design och funktion hos skannern så är möjligheterna många och därför kan en del tid gå åt till att fastslå vilken design eller funktionalitet som är mest lämplig, men för att komma fram till en design och funktion inom en rimlig tidsram utgick arbetet från dess begränsningar.



Figur 14. 3D-skannerns preliminära design

Begränsningar för arbetet är kostnaden för att tillverka skannern samt utformningen av en befintlig och tidigare gjord 3D-printer. 3D-printern har en relativt hög noggrannhet och kan därför skapa mycket detaljrika föremål och detta innebär då att höga noggrannhetskrav också ställs på skannern och som tidigare nämnt så är 3D-skannrar med hög precision och noggrannhet relativt dyra.

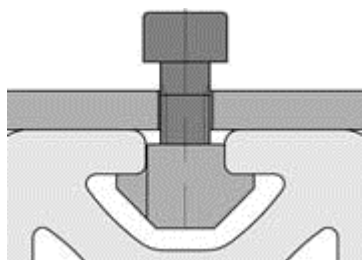
Fotogrammetri är ett av skanningsalternativen som är relativt billig men samtidigt har en hög noggrannhet och använder sig av en enkel princip. Principen innebär en kamera och omgivnings belysning. På basen av detta kunde jag bestämma att denna teknik är mest ändamålsenlig och därav bestämma basfunktionaliteten hos skannern.

#### 4.2.1 Material

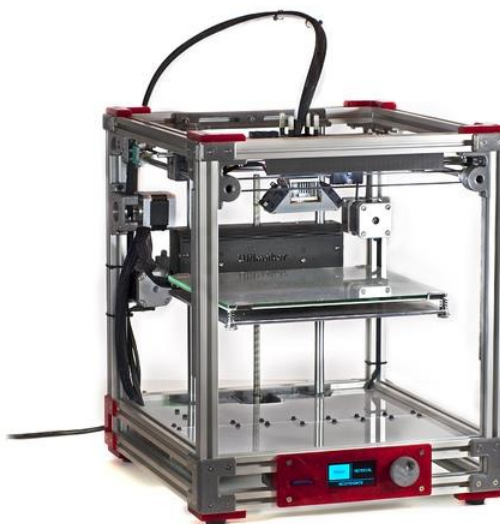
3D-skannerns utseende och utformning är besläktad med den tidigare gjorda 3D-printern. 3D-skannerns stomme är planerad i aluminium i form av standardiserade profiler och täckplåtar. Aluminiumprofilerna väljs som material för att de är relativt lätta men också robusta. En fördel med att använda sig av aluminiumprofiler är att det är lätt att modifiera konstruktionen tack vare fästningsprincipen som skenorna har. Det behövs m.a.o. inte göras hål för olika fästen utan istället används en speciell mutter. Se nedan i figur 16. Täckplåtarna är också gjorda i aluminium. Överlag är aluminium ett mycket lätt och bearbetarvänligt och det rostar inte som stål gör och pga. att inget material beskärs vid skanning så som vid fräsning, så krävs inga stora krafter och därav är aluminium tillräckligt hållbar för detta ändamål.



Figur 17. T-slot aluminiumprofil med mutter.



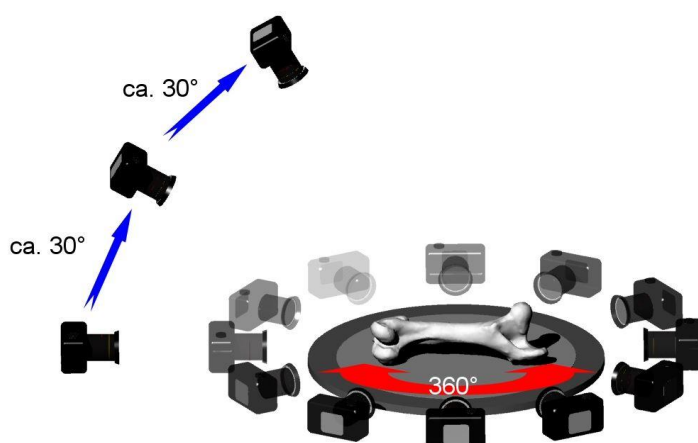
Figur 16. Fästnings princip för aluminiumprofil.



Figur 15. En 3D-printer gjord i aluminiumprofiler.

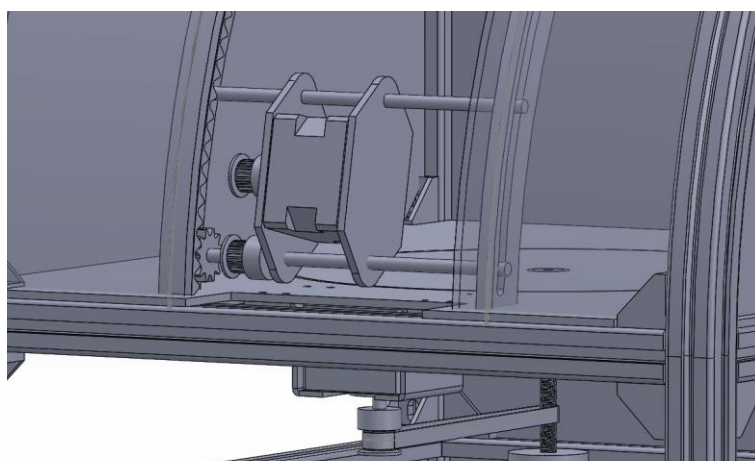
## 4.2.2 Funktion

Skannerns funktionalitet består av ett rörligt kamerafäste och ett snurrbord samt omgivningsbelysning. Föremål som ska skannas placeras centrerat på snurrbordet. Syftet med snurrbordet är att möjliggöra en 360 graders fotograferings vinkel. Kamerans infallsvinkel till snurrbordets centra är indelat i tre olika positioner. Infallsvinkeln för positionerna är 90, 60 och 30 grader. Kamerahuvudets och snurrbordets vinkelrörelser styrs med hjälp av stegmotorer och drivremmar. Konstruktionerna för dessa rörelser illustreras i figur 19.



Figur 18. Funktionsprincip hos skannern.

Skannerns arbetsutrymme eller skanningsobjektens maximala storlek begränsas av ett 200 x 200 x 200 mm stort område men i verkligheten en aning mindre pga. säkerhetsmarginaler. En sidlucka finns på ena sidan av skannern för manuell in- och utmatning av föremål som ska skannas. Figur 6 illustrerar den preliminära designen för skannern. Det som saknas från den preliminära designen är själva kamerafästet på kamerahuvudet, elektronikkomponenter samt belysningsarmatur.



Figur 19. Konstruktion för skannerns rörliga delar.

## 4.3 Resurser och begränsningar

På grund av att jag själv är uppdragsgivare samt finansär för arbetet är budgeten för arbetet en betydande begränsning. Dessa begränsningar har en direkt inverkan på skannerns funktionella konstruktion. Ett problem som är en kostnads fråga är tillgängligheten hos dom krökta aluminiumprofilerna som är special eller skräddarsydda profiler. Detta innebär då att en special beställning från en tillverkare görs och om tillverkaren inte har ett verktyg för att extrudera just denna profil måste ett separat verktyg tillverkas och detta kan kosta upp till tusen euro om inte mer för enbart tillverkningen av verktyget.

Jag kollade runt på en kinesisk hemsida Alibaba.com för att se om de speciella profilerna finns att beställas. Efter en del sökningar lyckades jag till slut få fram att profilerna går att beställa men beställningarna görs per ton, vilket inte är passande när endast två stycken profiler behövs. I och med detta bestämdes att de krökta profilerna måste ersättas, men vad som ersätter är under planering.

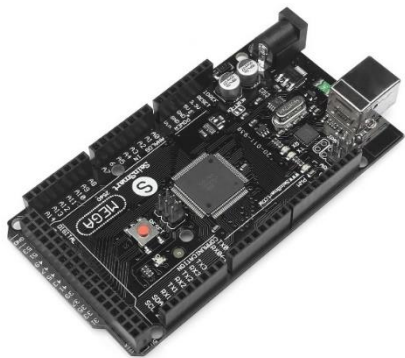
## 4.4 Komponenter

Detta avsnitt berättar om viktiga komponenter som utgör 3D-skannern, bl.a. ges med hjälp av lättförståeliga illustrationer en mera detaljerad beskrivning för hur en synkron stegmotor fungerar.

### 4.4.1 Sainsmart (Arduino)

Styrenheten eller mikrokontrollen som valdes till att styra 3D-skannern är en Sainsmart Ramps 1.4. Mikrokontrollern baserar sig på en Atmel ATmega2560 och är en kopia av en Arduino. Sainsmart Atmega2560 kontrollern är en 16 MHz processor som har 54 digitala in- och utgångar, var 15 av dessa kan användas som PWM-utgångar. PWM står för ”*Puls Width Modulation*” eller pulsbreddsmodulering översatt till svenska. Den har också 16 analoga ingångar samt 4 UART portar. På kortet finns även en USB port, en 5V DC port samt en reset-knapp.

På kontrollern finns ett expansionskort även kallad Ramps 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield). Expansionskortet är tillverkat i huvudsak för styrningen av stegmotorer samt spänningsmatningen för samtliga värmeelement hos 3D-printrar. I avsnittet stegmotor berättas om vilken typ av stegmotor det rör sig om samt dess uppbyggnad och funktionalitet. På expansionskortet finns 5 färdiga kontakter för A4988 stegmotordrivsystem, pinnar för 6 stycken mikrobrytare, 4 portar för servostyrning samt en 8-bit LCD adapter. På kortet finns även radklämmor för 12V matningsspänning samt 5v och 12V utgång. Detta mikrokontroller kit valdes för att den redan fanns tillgänglig som reservdel till den tidigare nämnda 3D-printern.



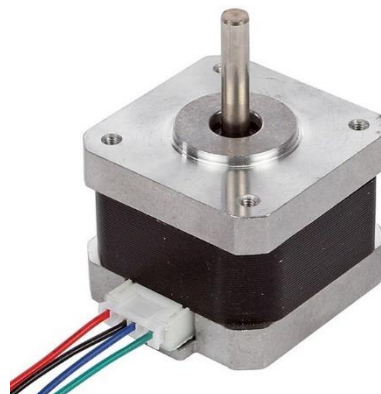
Figur 21. SainSmart AtMega2560



Figur 20. SainSmart RAMPS 1.4

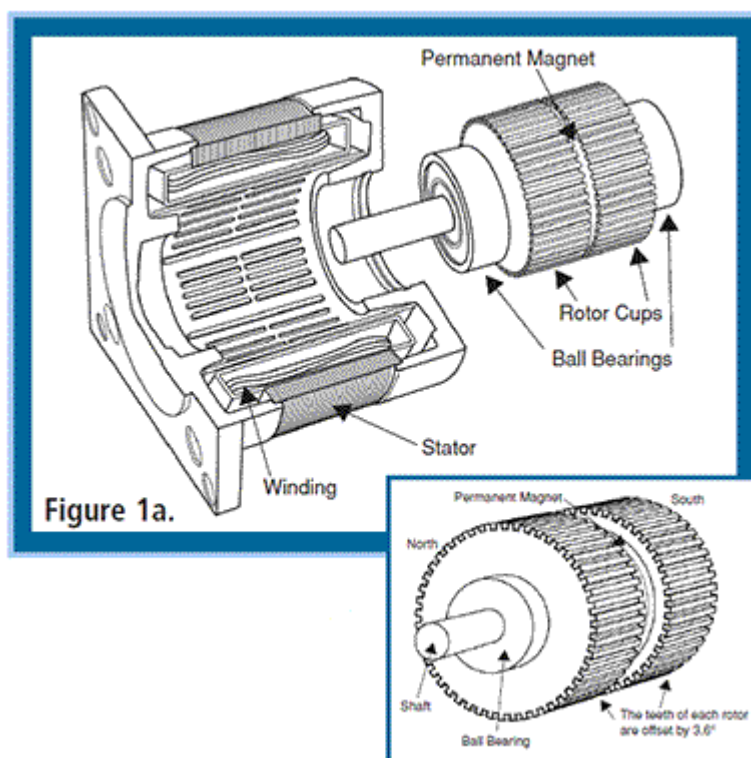
## 4.4.2 Stegmotor

I detta avsnitt valde jag att beskriva stegmotorn i detalj med hjälp av bilder och diagram, för att ge en förståelse för dess funktionalitet. För kamerahuvudets och snurrbordets rörelser används stegmotorer. Motorerna är av typen hybrid synkron stegmotor. Med detta menas att de är borst lösa steg-opererade motorer. Denna typ av motor kan rotera i fullt-steg, halvt-steg och mikro-steg och därav har en högre rotationsnoggrannhet i jämförelse med en vanlig DC motor.



Figur 22. Hybrid synkron stegmotor av NEMA 17 standard.

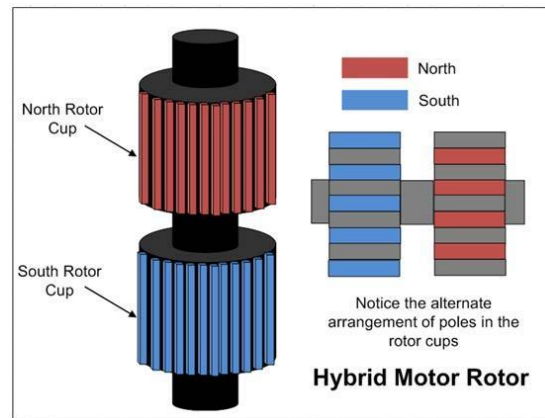
Motorns huvuddelar består av omslutandedelar stator och dess lindningar samt inredelar rotoraxel, kullager, rotorkoppar och en permanent magnet. Stegmotorns funktionalitet är inte lika entydig som t.ex. funktionaliteten hos en vanlig likströmsmotor motor.



Figur 23. Hybrid Synkron Stegmotor detalj beskrivning.

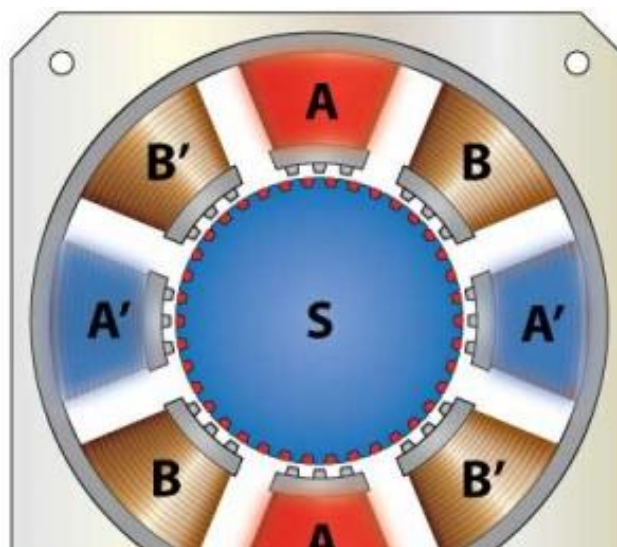
Motorns stator har en två-fas konstruktion d.v.s. statorns pol lindningar, som är 90 grader från varandra utgör en fas. Fasernas poler är ordnade så att de med samma polaritet är 180 grader från varandra och de med motsatt polaritet med 90 grader. Se figur 25.

Rotorn är uppdelad i sektioner som består av två stycken kugghjulliknande rotorkoppar som har femtio tänder var. Dessa rotorkoppar omsluter en permanent magnet som magnetiserar rotorn. Rotorkopparna får varsin polaritet, den ena en positiv polaritet och den andra en negativ polaritet. Den ena koppens tänder är förskjutna med en tand eller 3,6 grader från den andra koppens tänder. Se figur 24.



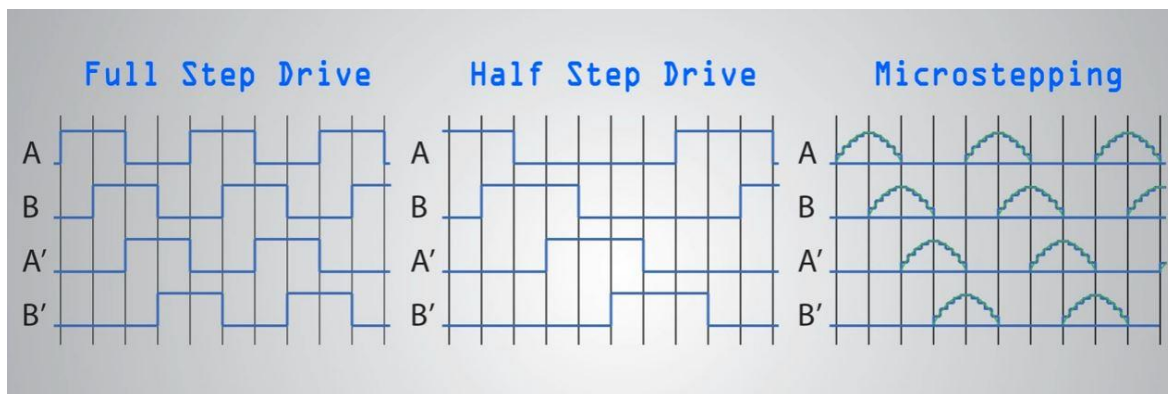
Figur 24. Hybrid-synkron-stegmotor. Rotor detaljbeskrivning.

Motorn roterar genom att aktivera statorns poler d.v.s. leda ström genom statorns lindningar sekventiellt. Som exempel vid första sekvensen, om lindning A aktiveras fås två nordpoler (A) och två sydpoler (A'). A-polen attraherar rotorns sydpol och A'-polen attraherar rotorns nordpol. I följande sekvens aktiveras lindning B med ordningen, B blir nordpol och B' blir sydpol. Då attraherar B-polen rotorns sydpol och B'-polen rotorns nordpol. Detta resulterar i att motorn roterar ett steg i moturs riktning. Motorns rotation är definierad i steg och denna motor har en stegresolution på 200 steg per hela rotationsvarv, m.a.o. en stegvinkel på 1.8 grader ( $1.8 \times 200 = 360$ ).



Figur 25. Statorns lindningar och rotorns samspel. A-lindningen aktiverad.

Sekvensdiagrammen nedan illustrerar de tre olika driv alternativ som kan användas med hybrid synkron stegmotor. Rotationsnoggrannheten varierar mellan dessa tre lägen. Vid en puls med fullt steg roterar motorn 1.8 grader som motsvarar ett steg och med halvt steg roterar den hälften så långt som blir 0.9 grader. Med "microstepping" kan stegresolutionen förbättras genom att använda antingen 1/8 eller 1/16 steg.



Figur 26. Sekvensdiagram för hur lindningarna aktiveras vid de olika drivlägena; "full step, half step och microstepping".



### 4.4.3 Digital systemkamera

Eftersom skannern grundar sig på fotogrammetrisk teknik så används en digital systemkamera som datainsamlingsinstrument. Krav som ställs på kameran är att den ska klara av att fånga högupplösta bilder med snabba intervall samt möjlighet till en trådansluten fjärrutlösare. Fotografierna som tas sparas direkt på ett minneskort som sitter inne i kameran. Ett universellt kamerafäste kommer att tillverkas för skannerns kamerahuvud så att kameran lätt kan ersättas med en annan vid behov.

## 4.5 Programverktyg

Under arbetets gång användes en del olika program som bl.a. ritplaneringsprogram och programmeringsverktyg. Skannerns konstruktion och design planerades i programmet SolidWorks, som är ett välanvänt CAD-program inom den tekniska industrin. SolidWorks valdes på grund av erfarenhet av programmet sedan tidigare och en tidsbegränsad gratis version av programmet fanns till förfogandet. SolidWorks är ett bra alternativ till CAD-program tack vare dess enkla sätt att bygga ihop hela konstruktioner, där varje enskild del ritas i skilda sessioner som sparas och importerar för att sedan monteras ihop med andra delar. Om en enskild del eller detalj editeras och sparas så överförs också dessa ändringar till monterings-sessionen i SolidWorks. Ett annat användbart verktyg som SolidWorks erbjuder, är verktyget ”Bill of Materials” och med detta verktyg kan en lista genereras. Där varje enskild del med givet projektnamn, en beskrivning samt antal är upplistade. Denna lista kan sedan öppnas i ett program som t.ex. Excel. Detta verktyg underlättar bland annat beställning av material och budgetering.

## 4.6 Skanningsprocessen

Detta avsnitt handlar om skanningsprocessen hos skannern. Här berättas om hur processen utförs och dess olika moment leder in i varandra. Skanningsprocessen är en process som består av ett antal delmoment som inkluderar flertalet datorprogram och manuellt arbete. Första skedet i processen är datainsamling av ett föremål och detta görs genom fotografering. Följande skede i processen är att med de tagna fotografierna generera ett ”punktmoln” i ett program som t.ex. Photoscan. Punktmolnet omvandlas till ett digitalt 3D-objekt. I kapitel tre, läs och se figur 13 som förklarar och illustrerar vad som menas med ett punktmoln. Objektet redigeras och editeras i ett 3D-modelleringsprogram som t.ex. SolidWorks och därifrån exporteras objektet som en stl-fil till ett program som t.ex. Slic3r som generar en g-kod utifrån stl-filen. Varefter g-koden importeras till t.ex. en 3D-printer som kan tolka g-kod och skriva ut en kopia av det fotograferade föremålet. Följande stycken berättar mer i detalj om skanningsprocessen och de olika skeden.

### 4.6.1 Fotografering

Processen inleds med fotografering av ett föremål som görs med hjälp av en digitalkamera. Arduinon som styr skannern, skickar en signal till en förstärkarkrets som skickar vidare den förstärkta signalen till kameran. Kameran är ansluten till kretsen med en två-trådig kabel. Denna lösning kräver att kameran som används stöder funktionen för trådansluten fjärrutlösare.

Föremålet fotograferas i tre olika nivåer. Varje nivå har olika infallsvinklar till föremålet. De första bilderna tas från en 90 graders infallsvinkel d.v.s. vinkelrätt till föremålet. För varje bild som tas roterar snurrbordet ett steg. Hur stora rotations steg som tas beror på hur många bilder som ska tas för ett helt varv och detta bestäms av huruvida detaljrikt föremålet är. Det tas flera bilder vid fotografering av detaljrika föremål än vid fotografering av mindre detaljrika. När föremålet snurrat ett helt varv, förflyttar sig kameran till nästa nivå som ligger på en infallsvinkel på 60 grader och föremålet fotograferas igen ett helt varv. Sedan förflyttas kameran till sista nivån som har en vinkel på 30 grader och igen snurrar föremålet ett helt varv. Efter att föremålet fotograferats från alla tre nivåer börjar en summer pipa tills föremålet tas bort. Skannern har ingen automatik för det så kvitteringen sker manuellt via en knapptryckning då föremålet tagits bort. När föremålet tagits bort så tas en bild från varje

nivå utan själva föremålet. Dessa bilder används sedan som mask som betyder att bakgrunden filtreras bort vid framställandet av 3D-objektet.

Bilderna sparas som t.ex. .JPG eller RAW på ett minneskort i kameran. Filformatet RAW är en icke-processerad bild som innehåller, all information som kameran snappat upp medan JPG-formatet är ett redigerat format där t.ex. kontrast och färg är redigerade. Varje format har sina olika för- och nackdelar. Om RAW och .JPG jämförs så är nackdelen med RAW att filstorleken kan vara upp till fem gånger större än JPG medan fördelen är att formatet är ”rått”, vilket underlättar eventuella efterredigeringar. Nackdelen med att spara bilderna i .JPG är att kamerans automatiska redigering kan vara omöjlig att ta bort eller ångra.

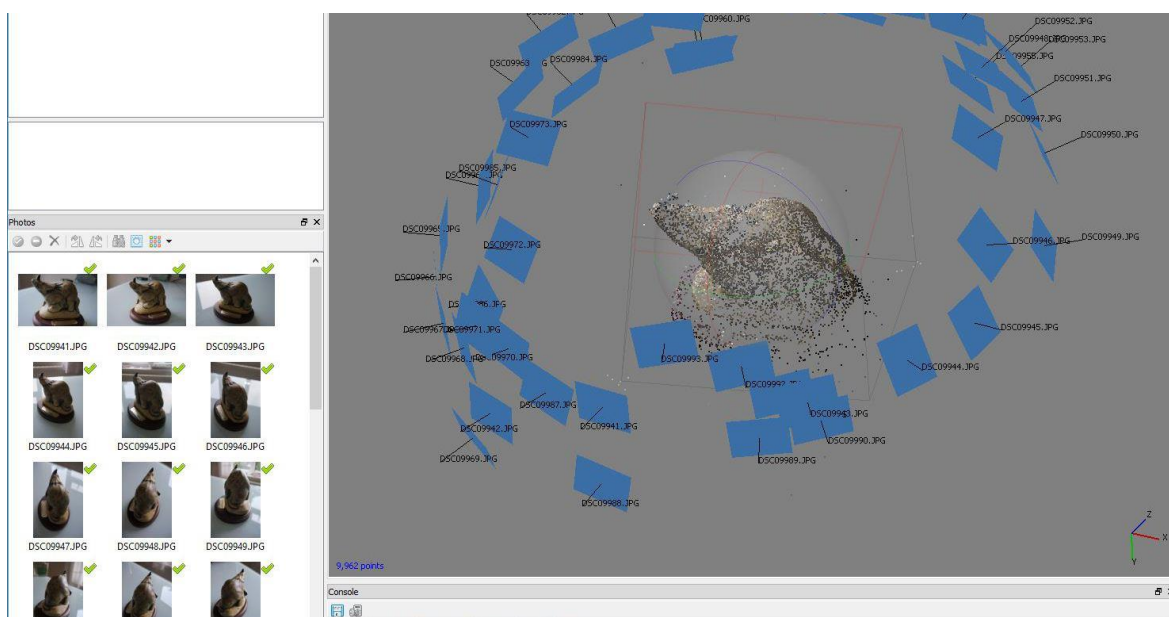
Val av bildformat som används är upp till användaren och behovet. En tumregel, för vilket format som är mest lämplig att använda, är att om föremålet som ska fotograferas är detaljrikt bör .RAW användas för att få en så informationsrik bild som möjligt. Ifall om föremålet inte är detaljrikt och en snabbare fotograferingsprocess önskas kan .JPG vara ett bättre alternativ, i och med att formatet är mindre till storleken och därför också lagras snabbare på minneskortet. Här är det kameran begränsar. Efter att fotograferingen av föremålet är klart, laddas bilderna ner till en dator för vidare bearbetning.

#### **4.6.2 Photoscan och punktmoln**

Efter att bilderna tagits och de är överförda på datorn, importeras de till programmet Agisoft Photoscan. Först genereras ett punktmoln av de importerade bilderna. Detta innebär att bildernas position inriktas så att de samman faller och representerar den verkliga modellen. Detta betyder att programmet försöker hitta så många unika spårningspunkter i så många bilder som möjligt för att sedan kunna generera ett så kallat punktmoln som innehåller en massa punkter.

Först genereras ett glest punktmoln som innehåller bara några tusen punkter, vilket inte är mycket, för att sedan generera ett tätt punktmoln som kan innehålla flera miljoner punkter. Punkterna innehåller inte bara tredimensionell information utan även information om vilken färg de representerar. Bilden nedan illustrerar ett glest punktmoln. Från punktmolnet kan sedan ett rutnät bildas, vilket betyder att punkterna samman kopplas för att bilda en kontinuerlig tredimensionell figur. Till sist genereras figurens textur med detta innebär att

figuren får samma färgåtergivning som det fotograferade objektet. Den genererade figuren kan sedan sparas som olika format för att sedan kunna öppnas och redigeras i 3D-ritprogram. De flesta 3D-ritprogram kan både öppna och hantera flera olika typer av filformat.



Figur 27. Genererat punktmoln av samtliga bilder av en staty.

### 4.6.3 3D-modell

Sista skedet i skanningsprocessen innebär att öppna den generade figuren efter att den sparats, i ett 3D CAD-program som t.ex. SolidWorks för vidare redigering. Detta görs för att noggrannare kunna inspektera resultatet av 3D-genereringen samt för en smidigare finjustering eller korrigering av objektet om så behövs. Efter eventuella korrigeringar exporteras 3D-modellen till filformatet stl för att sedan överföras till Slic3r, var en g-kod genereras för 3D-printning.

## 4.7 Problematik

Detta avsnitt handlar om de mest väsentliga problem som uppstod under arbetet. Problem som tas upp är praktiska problem samt hårdvaru- och mjukvarumässiga problem.

### 4.7.1 Automatisering

Ett centralt problem kring arbetet är skanningsprocessens halvautomatiska karaktär, med andra ord är processen inte helt automatiserad p.g.a. att den är indelad i olika arbetsmoment som kräver manuellt arbete. Själva fotograferingen av föremål är automatiserad men det är bildöverföringen, 3D-genereringen och redigeringen som inte är automatiserad utan här krävs manuellt arbete i ett tredje partens program.

Grundidén med en 3D-skanner är att spara tid vid digitaliseringen hos ett fysiskt befintligt föremål. Detta problem uppstår i och med att skanningstekniken fotogrammetri använder sig av fotografier, där data som insamlas är mycket informationsrik samt en mängd onödiga data lagras som t.ex. bakgrunden till ett föremål. Den överflödiga data som lagrats måste därför redigeras bort. Därtill kräver fotogrammetrisk 3D-generering en stor beräkningskapacitet i form av grafisk rendering som ställer krav på en dators grafikhanterare, d.v.s. grafikkort. Hanteringen av många talet högupplösta bilder, vilket betyder stora filstorlekar, kräver att datorns arbetsminne är tillräckligt stort. Detta utesluter då att beräkningarna görs av en dator med en tillräcklig beräkningskapacitet.

En lösning till detta problem kunde vara att använda sig av en positionskänslig sensor som t.ex. en PSD. PSD som står för "*Position Sensitive Detector*" är en optisksensor som kan bestämma en ljusstråles position genom att känna av var på sensorn ljusstrålen träffar.

Denna lösning skulle då endast registrera förändring hos föremål d.v.s. ett föremåls kontur och därav inte ta med bakgrunden som vid fotografering. Den registrerade data som lagras är sensor data, tolkade till koordinater som kan hanteras av en Arduino. Detta skulle då medföra att en mindre mängd data lagras och en lägre minneskapacitet krävs. Skanningsupplösningen skulle bestämmas av hur många gånger Arduinon läser av sensorn och lagrar informationen.

En färgsensor kunde användas för skanning av färgen hos ett föremål som är en färgat men om ett föremål har en rik färgdetalj kan det vara svår att skanna med endast en enkel färgsensor. Ytterligare skulle ett datorprogram läsa av lagrade data i realtid från Arduinon och åter ge en tredimensionell modell som kan tydjas av t.ex. CAD-program.

#### 4.7.2 Skanning utan skanner

För att kunna göra en test skanning av ett föremål och utforska programmen där fotografierna blir till en 3D-modell, utan at ha tillgång till en skanner, måste en improviserad skanningsanordning byggas.

Den improviserade skanningsanordningen bestod av en telefon som användes till att fotografera med och en ostbricka att fungera som snurrbord, som täcktes över med vitt kopieringspapper. På snurrbordets kant ritades ett sextiotal markeringar med jämna mellanrum för att indikera fotograferingstillfällena. Telefonens kamera hade en infallsvinkel på trettio grader mot snurrbordets mittpunkt. Anordningen upplystes med en vanlig bordslampa. Som test föremål valdes en standard 3x3x3 rubiks kub. Se figur 28.



Figur 28. En bild från skanningsförsöket.

Efter att kuben fotograferats varvet runt, togs kuben bort och en "tom" bild togs. Den tomma bilden används senare som en mask eller ett "filter" för att sedan kunna eliminera bakgrunden. Sedan importerades alla bilder till Agisoft Photoscan för vidare bearbetning.

När bilderna importerats till Photoscan, var på ett punktmoln skulle genereras och bilderna riktas, uppstod ett problem. Problemet var att programmet tolkade att alla bilder blivit tagna från en och samma punkt, fast än dom inte var det. Efter en hel del Googlande och sökande på internet, resonerades en lösning fram. Lösningen till problemet var använda sig av maskning, d.v.s. den "tomma" bilden och filtrera bort bakgrunden. Orsaken till problemet var att programmet förväntar sig att bakgrunden ändrar i samma takt som föremålet, alltså

föremålet är stilla och istället är det kamerans position som förflyttar sig runt objektet. Ett annat problem var att på grund av kubens blanka ytor, reflekterades mycket ljus och bara ett fåtal referenspunkter hittades av programmet. Därav en dålig kvalitet på modellen som resultat.

### 4.7.3 Pin mapping

Som tidigare nämnt så användes SainSmart AtMega2560 ramps 1.4 kitet som styrenhet för skannern. Eftersom att kitet, d.v.s. styrenheten och LCD skärmen, är utvecklat för 3D-printrar så fanns en del tillämpnings begränsningar. Detta orsakade en del problem som måste lösas.

För att minimera på antalet extra trådar och kablage, valdes att använda de befintliga adaptrar och moduler som medföljde kitet. I och med detta uppstod problem som t.ex. när användarmenyens navigeringsratt skulle programmeras. Problemet var att ratten var lödd fast direkt på kretskortet som LCDn satt på. Se figur 18. Efter som kitets färdiga kablage och adaptrar användes, måste en ”pin mapping” utföras.



Figur 29. SainSmart LCD kit med tillbehör.

Pin mapping innebär att varje anslutnings pin på LCDn, kablar och AtMega2560 måste mätas och respektive numrering antecknas. Tack vare detta lokaliserades bl.a. till vilka kontroller pinnar vridrattens pinnar var anslutna. Resultatet av detta visade att vridratten var ansluten till en pin på kontrollern som inte stöder avbrottsfunktion. Detta ledde till problem i och med att programmet för ratten baserade sig på avbrottsfunktion. Men efter några timmars programmerande kunde en ny lösning testas. Även andra pinnar orsakade en del problem på grund av att de var fel numrerade enligt medföljande manualer.

## 5 Projekthanteringsaspekter

Här i detta kapitel redogörs för vilka utmaningar som kan uppstå när man själv är beställare och utförare av ett examensarbete samt en kort motivering till vad som bestämde 3D-skannerns budget.

### 5.1 Beställare och utförare

Det kan vara en tuff utmaning att själv vara beställaren för examensarbetet av en del olika orsaker. I detta avsnitt berättar jag om de olika faktorer och orsaker som bidrar till utmaningar i att själv vara beställaren. En av faktorerna är att man själv är beställare och den som utför arbetet, då blir också beställarens uppgifter en del av arbetet. Dessa uppgifter är bland annat att ta fram ett lämpligt arbete och avgränsa arbetet. Andra orsaker som kan försvåra arbetet är att man blir ”hela företaget”, med andra ord flera ansvarsområden tillkommer. Exempel på ansvarsområden som kan tillkomma är bl.a. eventuell beställning, budgetering, tidsplanering, uppföljning, etc.

En annan utmaning med att arbeta under denna typ av förhållande, är att pressen eller trycket från en överliggande hand, som i förhållandet mellan arbetstagare och arbetsgivare, försvinner. Detta kan ha en negativ inverkan på t.ex. arbetets effektivitet men samtidigt också ha en positiv inverkan på flexibilitet.

### 5.2 Budgetering

Skannerns budget bestäms till största del av kostnaden för förmånliga och kommersiellt tillgängliga 3D-skannrar idag samt egna tillgångar. Enligt 3DPrint.com 3D-skanner köpguide så ligger de bästa kommersiellt tillgängliga skannrarna på ett pris mellan 300 dollar till 3000 dollar. Den dyraste i listan kostade till och med upp till 4000 dollar. Priserna är tagna från år 2016 och kan variera. En uppdaterad top-lista från 2017 publicerad på Toptenreviews.com. Där fanns listade i stort sätt samma skannrar som den ovan nämnda. En del av de upplistade skannrarna kräver även kostsamma tredje partens bearbetnings program vars pris tillkommer. Skannerns budget bestämdes vara mellan 200 och 300 euro.



Tack vare befintliga och överflödiga elektronik-komponenter från tidigare projekt, kunde kostnaderna för skannern hållas lägre och samtidigt behövdes de inte beställas som i sin tur sparade en del tid. Design idén med att använda sig av ett universellt kamerafäste möjliggör användningen av olika kameror vid skanning. Detta kan bidra till sänkta kostnader vid eventuellt byte av kamera om t.ex. befintlig kamera går sönder och måste bytas ut.

Totala kostnaden för skannern är svår att definiera på grund av olika program som användes. Vid tillverkning och planering användes SolidWorks som både kostar att köpa samt krävs en avgiftsbelagd prenumeration. Agisoft Photoscan erbjuder olika licenser för deras produkt. De prissatta licenserna är tids obegränsade medan gratis versionen är satt till en månads provtid med inaktiverade funktioner så som spar eller export funktion. Agisoft Photoscan används vid framställningen av den digitala modellen.

## 5 Resultat

Under examenarbetets gång uppstod en del utmaningar och en del av målen uppfylldes inte inom utsattid. Arbetet bestod egentligen av fyra olika delmål. Dessa delmål var; att undersöka och fastställa en teknik för arbetet, ritplaneringen av skannern, byggandet och programmeringen av skannern samt test och implementering. Första målet med arbetet gick ut på att ta reda på vilka tekniker och metoder som används vid tredimensionell skanning och i sin tur kunna bestämma vilken teknik arbetet ska grunda sig på. Fotogrammetri är tekniken som valdes som grund för skannern i detta arbete.

Följande mål med arbetet var att rita och planera 3D-skannerns konstruktion och funktion. Skannern ritplanerades i SolidWorks. Detta mål uppfylldes nästan i och med att en del mekaniska detaljer uteblev från ritplaneringen. Detaljer som inte ritplanerats än på grund av tidsbrist är elektronikkomponenter, kablage samt det universella kamerafäste. Se bilaga 1.

Tredje och näst sista delmål uppfylldes delvis. På grund av att skannerns ritningar inte är färdigställda har inte alla nödvändiga delar blivit beställda och därför har inte själva byggandet av 3D-skannern inlett. Däremot har ett preliminärt program för Arduinon, som fungerar som styrenhet för skannern, skapats och är färdigt för att testas. Se bilaga 2.

Eftersom att skannern inte blev klar inom utsatt tid, gjordes ett skanningsförsök med en telefonkamera för att kunna testgenerera en digitalmodell. I försöket skannades en rubiks kub i ett icke-optimalt belyst rum och endast ett sjuttiototal bilder fotograferades från en trettio graders infallsvinkel. Resultatet av skanningen blev ganska dåligt tack vare kubens ljusreflekterande blanka yta. Se bilaga 3,4 och 5.

## 6 Diskussion

Om arbetet hade gjorts om från början hade jag nog valt en annan teknik och skanningsprocessen hade sett annorlunda ut som t.ex. istället för att använda mig av fotografering hade jag använt en PSD sensor som datainsamlare. fördelar med denna lösning är bland annat att inte behöva köpa licenser för tredje partens program som hanterar fotografierna och utifrån dem generera en modell samt som tidigare nämnt att inte behöva hantera onödiga data i form av bakgrund.

Utmaningen hade väl varit att under den givna tiden för examensarbetet hinna läsa sig in på och lära sig grafisk programmering som t.ex. OpenGL. OpenGL är ett grafikbibliotek som är skriven i C. Biblioteket används vi rendering av 2D- och 3D-grafik. Med denna lösning hade möjligtvis en del manuella steg uteblivit som då lett till att skanningsprocessen blivit mer automatiserad och eventuellt snabbare.

## 7 Källförteckning

1. Alan Walford, 2007. *What is Photogrammetry?* [Online]  
<http://www.photogrammetry.com/> [Hämtat: 10.10.2016]
2. Arduino. *What is arduino?* [Online]  
<https://www.arduino.cc/en/guide/introduction> [Hämtat: 10.10.2016]
3. Boberg, A. (2006). *Introduktion till fotogrammetrin*. upplaga 8. Sollentuna.
4. Dejan Nedelkovski. (16.8.2015). *How to Control a Stepper Motor with A4988 Driver and Arduino*. [Online]  
<http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-control-stepper-motor-with-a4988-driver-and-arduino/> [Hämtat: 11.10.2016]
5. Direct Dimensions, Inc. *Almost Everything You Wanted to Know About 3D Scanning\* \*(But Were Afraid to Ask)*. [Online]  
[http://www.dirdim.com/lm\\_everything.htm](http://www.dirdim.com/lm_everything.htm)  
[Hämtat: 10.10.2016]
6. Grunewald, S. (16.6.2016). *2016 3D Scanner Buying Guide*. [Online]  
<https://3dprint.com/138629/2016-3d-scanner-buying-guide/> [Hämtat 22.2.2017]
7. NMB Minebea Co. LTD. *The Permanent Magnet in Motors - Construction and Operating Theory*. [Online]  
<http://www.nmbtc.com/step-motors/engineering/construction-and-operating-theory/>  
[Hämtat: 11.10.2016]
8. Ramböll Sverige Ab. *Optisk mätning för 3D-scanning av ytor och objekt*. [Online]  
<http://www.ramboll.se/tjanster/byggnader/specialisttjanster/optisk-3d-scanning>  
[Hämtat: 10.10.2016]
9. SainSmart. *About Us*. [Online]  
<http://www.sainsmart.com/about-us> [Hämtat: 11.10.2016]
10. SLR Lounge. (2016). *Dynamic range and raw vs jpeg*. [Online]  
<https://www.slrlounge.com/workshop/dynamic-range-and-raw-vs-jpeg/>  
[Hämtat: 5.2.2017]
11. TopTenReviews. *The Best 3D Scanners of 2017*. [Online]  
<http://www.toptenreviews.com/computers/scanners/best-3d-scanners/>  
[Hämtat: 22.2.2017]
12. *3D scanner* [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner) [Hämtat: 10.10.2016]

## 8 Figurkällförteckning

**Figur 1:** Arduino UNO. Hämtad: 19.1.2017

Källa: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/38/Arduino\\_Uno\\_-\\_R3.jpg/220px-Arduino\\_Uno\\_-\\_R3.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/38/Arduino_Uno_-_R3.jpg/220px-Arduino_Uno_-_R3.jpg)

**Figur 2:** Atmel mikrochip. Hämtad: 19.1.2017

Källa: <http://www.directindustry.com/prod/atmel/product-13779-584923.html>

**Figur 3:** SainSmart AtMega2560. Hämtad: 19.1.2017

Källa: [http://www.bytecode.co.uk/ebay/images/sainsmart\\_mega/SainSmart\\_MEGA2560\\_R3\\_01\\_MOD01.jpg](http://www.bytecode.co.uk/ebay/images/sainsmart_mega/SainSmart_MEGA2560_R3_01_MOD01.jpg)

**Figur 4:** SolidWorks skärmdump. Hämtad: 19.1.2017

Källa: <http://info.cadcam.org/blog/why-3d-cad-models-are-used-in-the-design-process>

**Figur 5:** Figuren till höger är ett exempel på data innehållet i en .stl fil. Hämtad: 19.1.2017

Källa: <http://instatuts.com/wp-content/uploads/2009/11/Rapid-Prototyping-STL-Guide-Instatuts-f2.jpg>

**Figur 6:** Agisoft Photoscan. Hämtad: 19.1.2017

Källa: <https://cesiumjs.org/images/2014/12-10/screengrab.jpg>

**Figur 7:** Slic3r. Hämtat: 19.1.2017

Källa: <http://manual.slic3r.org/>

**Figur 8:** Kontakt 3D-skanner. Datum: 09.11.2016

källa: <http://www.teachstemnow.com/digitizing-a-surface-lesson-plan-for-the-stem-classroom/>

**Figur 9:** Kontakt 3D-skanner 2. Datum: 09.11.2016

källa: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)

**Figur 10:** 622XR x-ray scanner. Datum: 09.11.2016

källa: <http://www.htds.fr/en/security/x-ray-scanner/conventionnal-x-ray-scanner/622xr-x-ray-scanner/>

**Figur 11:** Kontaktlös Passiv skanningsteknik. Datum 23.2.2017

källa: <https://3dprintingindustry.com/news/euromold-day-3-3d-scanning-portals-3d-world-58373/>

**Figur 12:** Princip för fotogrammetri. Datum: 08.11.2016

källa: [http://www.clemson.edu/restoration/wlcc/equipment\\_services/equipment/photogrammetry.html](http://www.clemson.edu/restoration/wlcc/equipment_services/equipment/photogrammetry.html)

**Figur 13:** Punktmoln exempel. Datum: 08.11.2016

Källa: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/3ds-Max-Help/index.html?url=files/GUID-49CE0ACB-1345-4D50-B6E5-361DBFDB5B33.htm,topicNumber=d30e158270>

**Figur 14:** 3D-skannerns preliminära design. Hämtat: 2016

Källa: egen

**Figur 15:** En 3D-printer gjord i aluminiumprofiler. Datum: 23.2.2017

källa: <http://www.thingiverse.com/thing:811271>

**Figur 16:** T-Slot aluminiumprofil. Datum: 23.2.2017

källa: <http://www.modularcomponents.com.au/building-blocks/t-slot-nuts/>

**Figur 17:** T-Slot aluminiumprofil. Datum: 23.2.2017

källa: <http://www.modularcomponents.com.au/building-blocks/t-slot-nuts/>

**Figur 18:** Funktions princip hos skannern. Hämtat: 24.2.2017

Källa: <https://paleoerie.org/tag/photogrammetry/>

**Figur 19:** Konstruktion för skannerns rörliga delar. Hämtat: 2016

Källa: egen

**Figur 20:** SainSmart RAMPS 1.4. Datum: 20.2.2017

Källa: <http://www.sainsmart.com/sainsmart-3d-printer-control-board-ramps-1-4-for-arduino-reprap-mendel-prusa.html>

**Figur 21:** Arduino Sainsmart 2560. Datum: 20.2.2017

källa: <http://www.sainsmart.com/sainsmart-mega2560-r3-development-board-compatible-with-arduino-mega2560-r3.html>

**Figur 22:** Hybrid synkron stegmotor av NEMA 17 standard. Datum: 20.2.2017

Källa: <https://www.sainsmart.com/3d-printing/sainsmart-nema-17-stepper-motor-1-5a-2-5a.html>

**Figur 23:** Hybrid Synkron Stegmotor detaljbeskrivning. Datum: 20.2.2017

Källa: <http://www.nmbtc.com/step-motors/engineering/construction-and-operating-theory/>

**Figur 24:** Genererat punktmoln av samtliga bilder av en staty. Datum: 05.2.2017

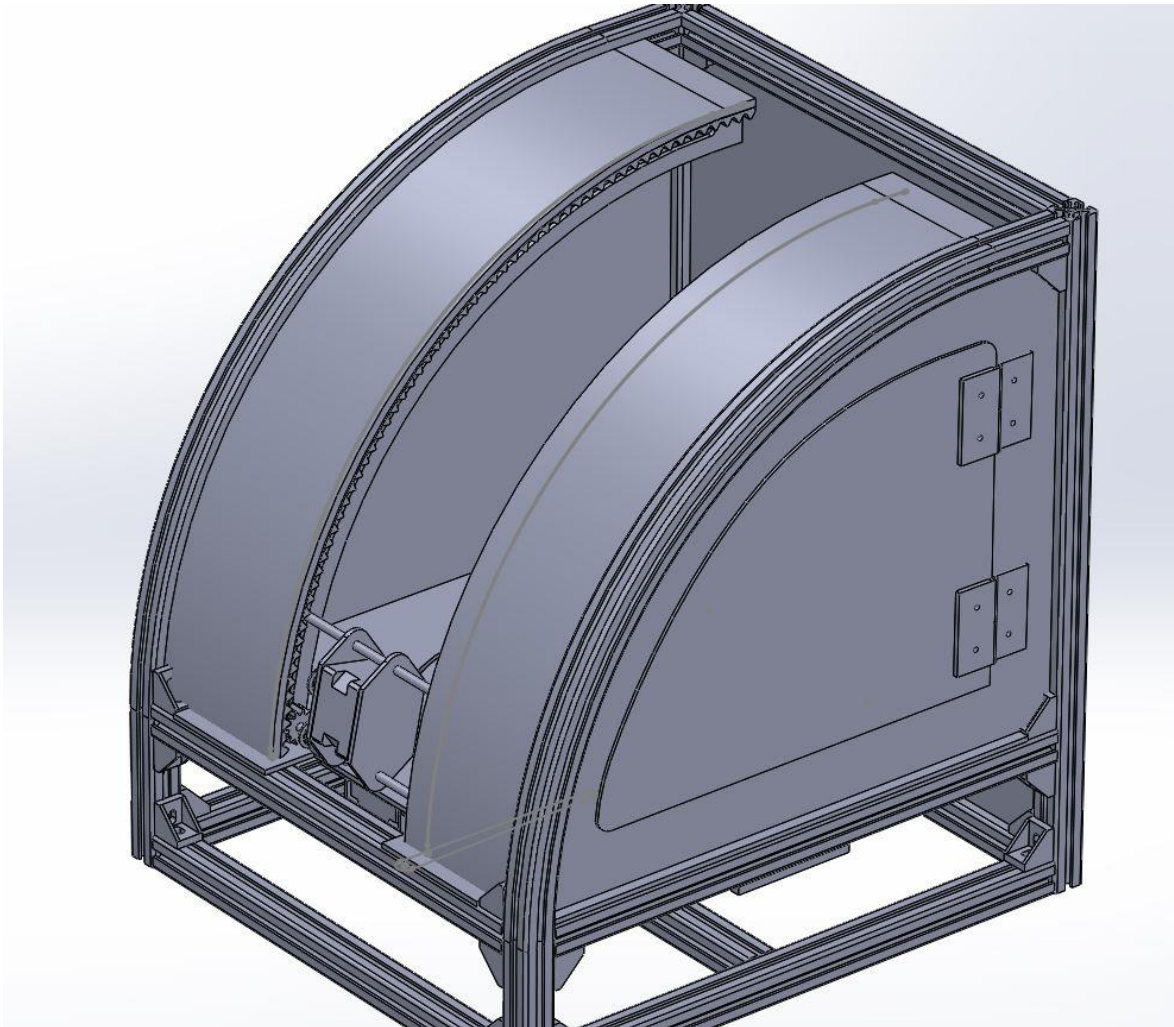
källa: [https://pfalkingham.files.wordpress.com/2016/10/1-photoscanstyrac\\_low.jpg?w=1479&h=768&crop=1](https://pfalkingham.files.wordpress.com/2016/10/1-photoscanstyrac_low.jpg?w=1479&h=768&crop=1)

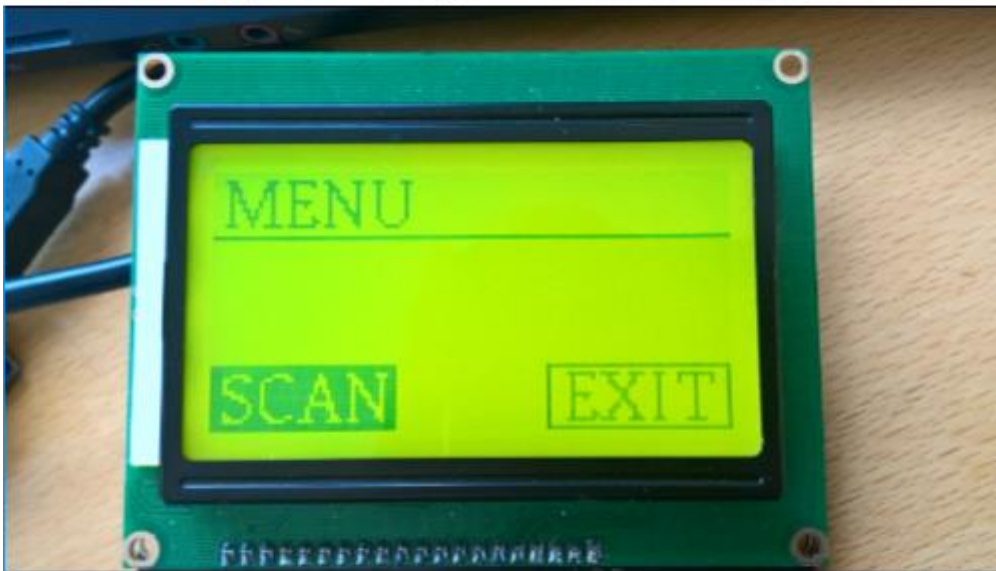
**Figur 25:** En bild från skanningsförsöket. Datum: 3.1.2017

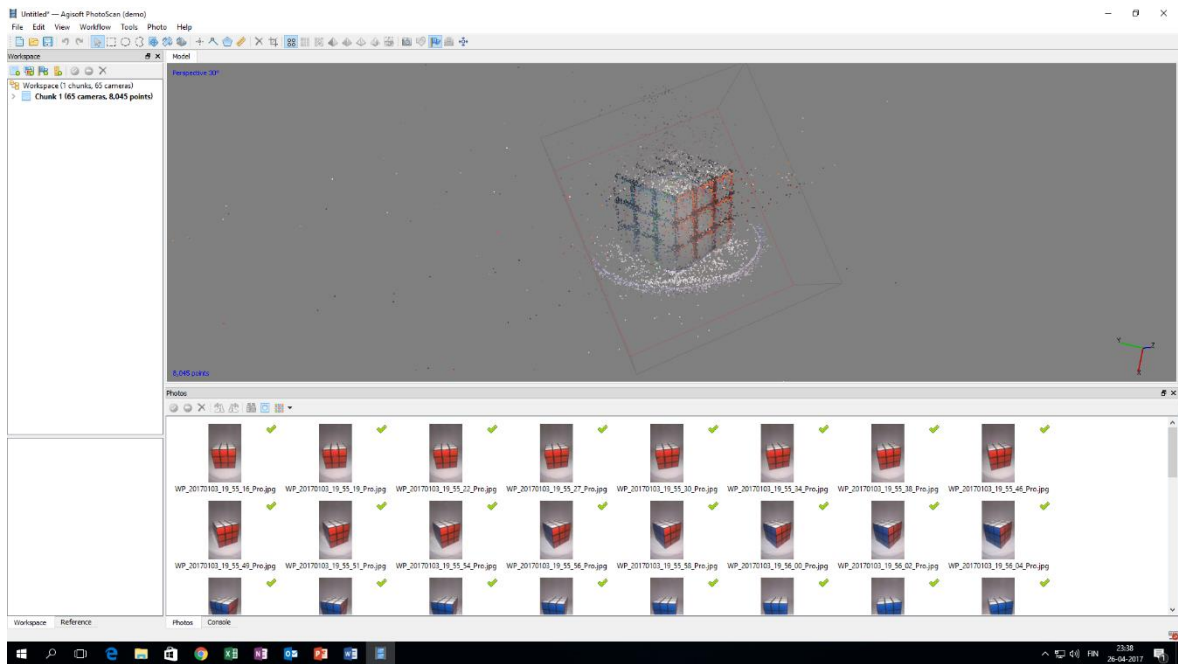
källa: egen

**Figur 26:** SainSmart LCD kit med tillbehör. Datum: 23.2.2017

Källa: [http://iduino.computer-parts-store.com/images/Sain\\_Smart\\_Lcd\\_Smart\\_Controller\\_12864\\_t.jpg](http://iduino.computer-parts-store.com/images/Sain_Smart_Lcd_Smart_Controller_12864_t.jpg)









Kubens yta genererat från tätt punktmoln.

Bilaga 4

