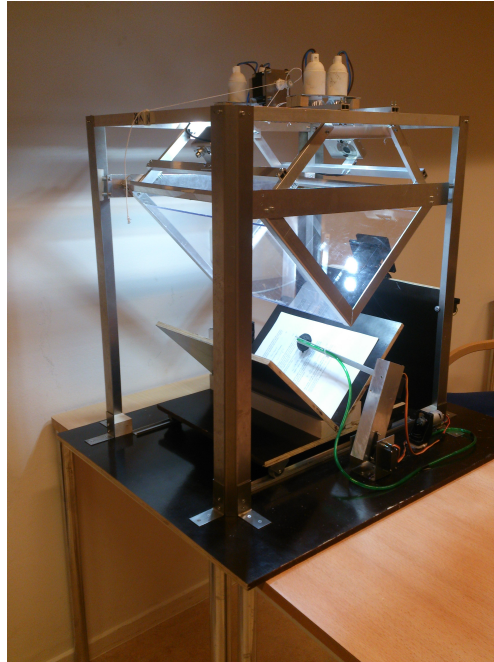




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Automatisk Bokskanner

Kandidatarbete vid institutionen för Signaler och System

Philip Aldebert, Sverre Bergdahl, Mattias Hovgard

Institutionen för Signaler och System
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Gothenburg 2015, SSYX02-15-23

Sammanfattning

Många studenter släpar idag regelbundet tunga böcker fram och tillbaka till skolan, ofta dessutom tillsammans med en dator. Detta trots att datorn har tillräckligt med minne för att med god marginal lagra all den information som står i dessa böcker. Därav kommer syftet med projektet: att ta fram en produkt som klarar av att automatiskt digitalisera delar av en bok. Från syftet togs en kravspecifikation fram som produkten måste uppfylla. För ta fram produkten användes ett systematiskt tillvägagångssätt som började med att dela upp huvudproblemet i ett antal delproblem. Därefter hittades lösningar på dessa delproblem och dessa kombinerades till ett antal olika lösningsförslag. Slutligen användes en metod för att betygsätta de olika lösningarna för att få fram den lämpligaste. Den valda lösningen består av: en arm med en sugkopp som vänder sida; en glaskil som slätar ut sidorna samt två kameror som tar kort. Därefter konstruerades produkten, vilket innefattade: val av komponenter, fysisk konstruktion, programmering samt koppling av elektronik. Resultatet av projektet blev en produkt som klarar av skanna in en del av de böcker som ställdes som krav, dock inte alla. Den avgörande faktorn visade sig vara vilken typ av papper som böckerna var tryckta på.

Abstract

Many students today regularly carry heavy textbooks to and from school, often in addition to a laptop, and despite the fact that the laptop has more than enough memory to store all the information contained in the books. Therefore the purpose of this project: to make a product that automatically can digitalize parts of a book. From this purpose a specification was developed. To make the product a systematic approach was used that began with identifying and defining different sub-problems, thereafter solutions for these sub-problems were found and combined to complete solutions. Finally a method for grading the different solutions was used to decide which was superior. The chosen solution consists of: an arm with a suction cup that turns the page; a glass wedge that flattens the pages; two cameras that photograph the pages. After this the product was designed and constructed, comprising choice of components, physical construction, programming and wiring of electronics. The result of this projekt was a product that can scan some of the books specified, but not all. The deciding factor turned out to be the type of paper used in the book.

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Litteraturstudie	2
1.4	Kravspecifikation	4
1.5	Avgränsningar	6
1.6	Metod	7
2	GENOMFÖRANDE	8
2.1	Framtagning av lösning	8
2.1.1	Delproblem	8
2.1.2	Morfologiskmatris	8
2.1.3	Elimineringsmatris	11
2.2	Mekanisk design	11
2.2.1	Lyfta upp och vända sida	12
2.2.2	Utslätning av sida	13
2.2.3	Digitalisering	15
2.2.4	Hantering av varierande bokparametrar	16
2.2.5	Ljussättning	16
2.2.6	Justering för asymmetrier	18
2.3	Val av motorer & pump	18
2.3.1	Robotarm	19
2.3.2	Glaskil	20
2.3.3	Pump	21
2.4	Elektronik	21
2.5	Programmering	23
2.6	Bildbehandling	25
3	RESULTAT	26
4	DISKUSSION	27
4.1	Miljö- och hållbarhetsanalys	27
4.2	Oförutsedda problem	27
4.3	Förbättringar	28
4.4	Slutsats	29
5	APPENDIX	31

Figurer

Figur 1	Exempel på bokskannrar	2
Figur 2	Catia rendering av bokskannern	12
Figur 3	Robotarmen	13
Figur 4	Vagga	14
Figur 5	Glaskilen	14
Figur 6	Lampplacering-vinkel	17
Figur 7	Lampplacering-höjdled	18
Figur 8	Kraftekvation	19
Figur 9	Översikt av elektroniken	22
Figur 10	Flödesschema av inskanningssekvensen	24
Figur 11	Ljusreflektioner med en kilvinkel på 120°	31
Figur 12	Ljusreflektioner med en kilvinkel på 70°	31
Figur 13	Orginalbild	32
Figur 14	Efterbehandlad bild	32

Tabeller

Tabell 1	Kravspecifikation	6
Tabell 2	Morfologisk matris	9
Tabell 3	Lösningar från morfologisk matris	9
Tabell 4	Elimineringsmatris	11
Tabell 5	Komponentlista	33

1 Inledning

1.1 Bakgrund

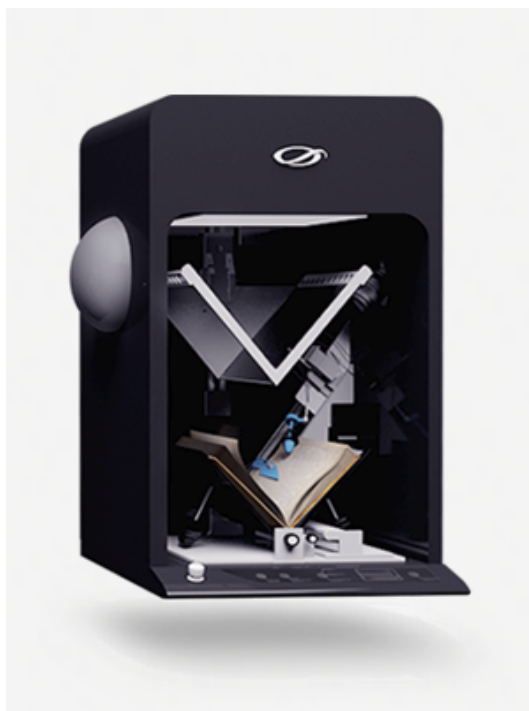
I en tidsålder där många redan bär runt på en laptop eller dylikt är det onödigt att dessutom bära runt på ett stort antal böcker. Detta är utgångspunkten, och målet är att designa en produkt, som gör att privatpersoner till en rimlig kostnad skall kunna digitalisera delar av böcker och anteckningar. Produkten vänder sig framför allt till studenter. Automatiska bokskannrar är något relativt nytt, och de har inte funnits på marknaden särskilt länge. De som finns är primärt riktade till kunder såsom bibliotek och arkiv. De är därför ofta väldigt dyra och stora maskiner, och de helautomatiska kostar hundratusentals kronor och uppåt¹. Det finns många projekt om detta redan; t.ex. har Google ett projekt där de har skannat in över 20 miljoner böcker². Den ingenjörsmässiga utmaningen ligger i att både utforma och bygga en produkt som klarar av att skanna in en hel bok utan avbrott eller att maskinen har sönder boken. Samtidigt skall den kunna hantera vanligt förekommande format. Det är också en klassisk ingenjörsutmaning att titta på existerande lösningar och därefter försöka bygga en produkt som är bättre.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att ta fram en prototyp av en bokskanner som klarar av att automatiskt skanna in delar av en bok utan avbrott.

¹ Elizabeth Michaelson. "Book Scanners". I: *Library Journal* 139 (5 2014).

² Cade Metz. *Google Books*. Febr. 2015. URL: <http://www.wired.com/2013/11/google-2/>.



(a) ROBOT Book Scan 3.0



(b) Linear Book Scanner

Figur 1: Exempel på bokskannrar

1.3 Litteraturstudie

Teori för det valda ämnet är mer eller mindre obefintlig, så för att få en meningsfull litteraturstudie läggs fokus på praktiska exempel och existerande lösningar. Förutom kommersiella exempel finns det ett forum för hemmabyggare på nätet,³ som kommer vara till stor hjälp. Där finns, förutom exempel på lösningar, även ingående diskussioner om vilka komponenter som är lämpliga. Marknaden för automatiserade bokskannrar är relativt liten och kan huvudsakligen delas upp i två kategorier, kommersiella högkvalitativa respektive ändamålsenliga hemmabyggda automatiserade bokskannrar. Den första kategorin riktar sig främst till statliga bibliotek och arkiv⁴, där användningsområdet är digitalisering av gamla pappersarkiv och historiska dokument. Faktorer som försiktighet och skonsamhet i hanteringen är därför viktiga. Vilket garanteras av de högkvalitativa bokskannrarna, men till ett högre pris⁵. Ett exempel som illustrerar denna kategori är följande bokskanner med tillhörande kännetecken.

³ *diybookscanner.org - forum*. Febr. 2015. URL: <http://www.diybookscanner.org/forum/>.

⁴ *Exempel på kunder*. Febr. 2015. URL: <http://www.qidenus.com/home/customers/>.

⁵ Michaelson, "Book Scanners".

ROBOTIC Book Scan 3.0 Qidenus Technologies⁶

- Använder två korsriktade digitalkameror
- V-formad konstruktion
- Ett robotfinger vänder sida med hjälp av friktion

I kategori två finns de ändamålsenliga bokskannrarna vilket innebär att funktionalitet och kostnad kommer i första hand medan snabbhet, utformning och skonsamhet kommer i andra. Vad som ytterligare är gemensamt för den här kategorien är att konsumenten och producenten ofta är samma person, med andra ord är användaren typiskt en privatperson eller en mindre organisation. Detta avspeglas också i de mer innovativa tekniska lösningarna som t.ex. innefattar Lego, trä och dammsugare.

Linear Book Scanner⁷

- Boken förflyttas i en linjär konstruktion
- Använder vakuum i form av en dammsugare som leder in sidan i en skåra för att komma till nästa uppslag
- Digitalisering sker med laser
- Boken placeras liggande som ett upp- och nervänt V

Sammanfattningsvis är hastighet den utmärkande fördelen som de kommersiella bokskannrarna har över de hemmabyggda. Exempelvis kan BFS-auto⁸ uppnå en topphastighet på 250 sidor/minut vilket motsvarar 15 000 sidor i timmen. Packetering och design i form av chassi och inbyggnad är också kännetecknande för de professionella skannrarna. Implementeringen av styrningen är förmodligen också bättre konstruerad, med specialbeställda kretsar för ändamålet. Dock hittades ingen källa för att bekräfta detta. Som litteraturstudien visar finns det en stor variation av olika metoder och lösningsförslag för att lösa problemet, som alla har sina för- och nackdelar. Frågan blir vilken lösning som passar bäst för syftet och tidsramen för detta kandidatarbete, vilket diskuteras i detalj längre fram i rapporten, med litteraturstudien som utgångspunkt.

⁶ Qidenus ROBOT Book Scan 3.0. Febr. 2015. URL: <http://www.qidenus.com/product/robotics>.

⁷ Linear Book Scanner. Febr. 2015. URL: <http://linearbookscanner.org/>.

⁸ BFS-Auto Ishikawa Watenabe Laboratory. Febr. 2015. URL: <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/BFS-Auto/>.

1.4 Kravspecifikation

Nedan följer de krav som ska uppfyllas av produkten för att projektet ska anses uppfylla sitt mål.

Funktionella krav

De funktionella kraven är de som styr vad produkten ska kunna uträtta

Bearbetningstid: Med Bearbetningstid menas hur lång tid det får ta för maskinen att skanna in en sida. det ska maximalt ta en natt att skanna in en hel bok. Eftersom ingen av de undersökta böckerna var på mer än 1000 sidor, används det som gräns. En natt räknas till 8 timmar.

$$\frac{Tid}{Sidor} \Rightarrow \frac{8 \cdot 60}{1000} \approx 30 \text{ sekunder / sida}$$

Boktjocklek: Den maximala boktjockleken som uppmättes var 4cm.

Höjd och bredd: Den maximala höjd och bredd som produkten ska klara av är 30 respektive 21 cm, vilket ungefär motsvarar ett A4-papper. Den minsta höjd och bredd som kan krävas är 21 respektive 15 cm som motsvarar ett A5-papper.

Bokvikt: En normalstor bok uppskattas väga högst 1 kg. På det läggs en ordentlig marginal.

Skador: Maskinen ska inte orsaka bestående skador på boken, t.ex. rivna sidor eller att den inte går att stänga ordentligt efteråt.

Felsäkerhet Fel i det här fallet avser framför allt att ingen sida eller flera sidor vänds.

Öppningsvinkel: Om boken öppnas för långt finns det risk för att den inte går att stänga snyggt igen, och att bindningen slits onödigt mycket. Gränsen är satt utifrån hur mycket en bok kan öppnas utan att skada den, uppskattningsvis. ungefär 135° . Värt att notera är att de flesta professionella lösningar använder sig av ca 90°

Digitalisering: Produkten ska kunna omvandla innehållet i en bok till en läslig bild, i ett bildformat som utan svårighet kan läsas av de vanligaste typer av datorer. Bildformaten jpg och png är förmodligen de vanligaste.

Bildupplösning Bildupplösning mäts i dpi(dots per inches). Här har rekommendationer från redan existerande lösningar följts, det gav ett värde på 300x300 dpi.

Papperstyp: De böcker som har undersökts var framför allt tryckta på två olika typer av papper. Dels "vanligt papper som är poröst och dels papper som är bestruket med lera, vilket gör det mer kompakt

Sidvikt: Sidvikt mäts i gram per kvadratmeter. De böcker som undersöktes hade en sidvikt på 50-80 g/m^2

Pärmtyp: Produkten ska kunna klara både hårda och mjuka pärmar.

Icke funktionella krav

De icke-funktionella kraven styr de krav på produkten som inte är direkt kopplade till dess funktion.

Vikt: Produkten ska vara stationär, men det kan ändå vara praktiskt att kunna förflytta den kortare sträckor. Följande krav är därför framtagna med utgångspunkt från att två normalstarka personer ska kunna bära den utan större svårigheter. Detta ger en uppskattad vikt på max 30 kg.

Storlek: För att produkten inte ska bli för otymplig att flytta eller ta för mycket plats, har grova mått på dess längd, bredd och höjd uppskattats. Längd: 1m, Bredd: 1m och höjd: 1,5m.

Ljudnivå: För att användaren ska kunna vistas nära produkten en kortare tid utan allt för mycket obehag, bör ljudnivån inte överstiga 70dB⁹.

⁹ Tabell med ljudnivåer. Febr. 2015. URL: <http://www.industrialnoisecontrol.com/comparative-noise-examples.htm>.

Tabell 1: Kravspecifikation

Kravspecifikation	
Kategori	Gränsvärde
Funktionella	
Bearbetningstid	30 sekunder/sida
Boktjocklek	4 cm
Bokhöjd	21-30 cm
Bokbredd	15-21 cm
Bokvikt	2 kg
Skador	0 revor, 0 vikta sidor. Ska gå att stänga normalt efteråt
Felsäkerhet	1 fel per 1000 sidor
Öppningsvinkel	max 135°
Digitalisering	jpg/png-format
Bildupplösning	Minst 300 x 300 dpi
Papperstyp	Bestrukna, Obestrukna
Sidvikt	50-80 g/m ²
Pärmtyp	Hård, mjuk
Icke-funktionella	
Vikt	30 kg
Storlek	1x1x1,5 m
Ljudnivå	70 dB

1.5 Avgränsningar

Projektet är huvudsakligen avgränsat till hårdvaruaspekterna av en bokskanner. Med andra ord är delar som bildbehandling, optimering (både i tids- och kostnadsperspektiv bl.a) och hundra procentig automationsnivå inte högsta prioritet och behandlas endast i begränsad utsträckning. Design och konstruktion av kretskort och liknande ligger också utanför omfånget för projektet. Istället används befintliga standardiserade mikrokontrollers. Anledningen till dessa avgränsningar är främst att tiden för projektet är begränsad samt att de inte är nödvändiga för projektets syfte. Ett omfattande säkerhetssystem får anses sekundärt i förhållande till projektets huvudsyfte. Konvertering av bildfiler till pdf-format samt att göra dessa säkbara avgränsas till att utföras manuellt. Områden som användarvänlighet och gränssnitt är inte direkt nödvändiga men inte heller oviktiga och därför implementeras endast de mest nödvändiga funktionerna med begränsad användarvänlighet. Det är framför allt böcker som är avsedda att digitaliseras. Därför kommer det inte vara möjligt att skanna in lösblad.

1.6 Metod

I första delen av arbetet används olika generella metoder för att identifiera delproblem, ta fram lösningar samt betygsätta dessa. Morfologisk matris används för att ta fram lösningar på delproblem. Sedan applicerades en elimineringsmatris på dessa lösningar för att bestämma vilken som ska vidareutvecklas. En detaljerad mekanisk design görs för den valda lösningen. Därefter dimensioneras och väljs komponenter, med hjälp av beräkningar från relevant teori t.ex. mekanik och ellära. Sedan påbörjas arbetet med att bygga själva produkten, detta görs mestadels i prototypplabbet samt CRF¹⁰ där elektroniken byggs. Konstruktion innefattar även att skriva den kod som behövs för att styra elektroniken. Produkten testkörs och kalibreras därefter för att rätta till eventuella fel.

För att verifiera att produkten uppfyller samtliga av de krav som är ställda på den genomförs ett antal testkörningar. I dessa testkörningar skannas några böcker med olika parametrar in. Parametrarna varierar med avseende på tjocklek, höjd, bredd, vikt, pärmtyp och papperstyp enligt kravspecifikationen. För att dessa krav ska bli godkända krävs det att kraven bearbetningstid, skador, felsäkerhet, ljudnivå och bildupplösning uppfylls för varje bok. De övriga kraven: vikt, storlek och öppningsvinkel kontrolleras på den färdiga konstruktionen.

¹⁰ Chalmers Robot Förening

2 Genomförande

Utifrån Kravspecifikationen och med hjälp av metoden genomförs framtagning och konstruktion av produkten.

2.1 Framtagning av lösning

Nedan följer resultatet av de olika delmoment som används för att ta fram en slutgiltig lösning.

2.1.1 Delproblem

Första steget är att bryta ner projektets huvudsyfte, att automatiskt digitalisera delar av en bok, till flera delproblem som alla behöver lösas för att uppnå syftet. Dessa delproblem listas här.

- Lyfta upp sida
- Vända sida
- Utslätning av sida
- Digitalisering
- Bekräftelse när inskanningen är klar
- Hantering av varierande bokparametrar
- Belysning
- Justering av asymmetrier
- Styrning

2.1.2 Morfologiskmatris

Den morfologiska matrisen används som ett hjälpmedel för att få fram olika helhetslösningar. De viktigaste delproblemen ställs upp i en matris. Sedan tas ett antal olika lösningar på delproblemen fram. Därefter kombineras olika dellösningar till ett antal helhetslösningar.

Tabell 2: Morfologisk matris

Morfologisk matris				
Delproblem	Lösningförslag			
Lyfta upp sida	Med hjälp av utslättninsmekaniksmen	Arm med suganordning	Gummifinger som buktar upp sidan	
Vända sida	Robotarm	Tryckluft som blåser		
Utslätning av sida	Inget	Vinklad glasskiva	Rak glasskiva	Armar
Digitalisering	2 Digialkameror	1 Digialkamera + spegel	Laser	
Bekräftelse när inskanningen är klar	Mata in antal sidor	Metallbleck	Trycksensor känner när pärmen försöker lyftas	Optisk sensor + extra ljus/mörkt papper i slutet av boken
Hantering av varierande bokparametrar	Manuell inställning	Mata in digitalt och automatisk justering	Ta bild och automatisk justering	
Belysning	Många små LED:s	Ett fåtal starka lampor		
Justering av asymmetrier	Reglerande plattor under varje bokhalva	Bokhållaren sitter på räls	Automatisk justering av kamera och vändningsmekaniksmen	

Det är framförallt tre delproblem där det är kritiskt hur dellösningarna kombineras. Dessa är: lyfta upp sida, vända sida och utslätning av sida. Därför tas sju stycken lösningar fram, där endast dessa parametrar varierar. De kan ses i tabellen nedan

Tabell 3: Lösningar från morfologisk matris

Lösning nr.	Lyfta upp sida	Vända sida	Utslätning av sida
1	Med hjälp av utslättninsmekaniksmen	Tryckluft	Vinklad glasskiva
2	Arm med suganordning		Vinklad glasskiva
3	Arm med suganordning	Robotarm	Vinklad glasskiva
4	Gummifinger	Robotarm	Armar
5	Arm med suganordning	Robotarm	Armar
6	Arm med suganordning	Tryckluft	Vinklad glasskiva
7	Gummifinger	Robotarm	Vinklad glasskiva

Av dessa är lösning 1, 2, 4 och 5 i tabell 3 mest lovande. Anledning till att lösning 3, 6 och 7 sällas bort är följande. Lösning 3 liknar lösning

2, men kräver ytterligare en robotarm, vilket är onödigt; med lösning 6 finns risk att sugarmen är i vägen när tryckluften försöker vända sida och lösning 7 har även den onödigt många rörliga delar.

Lösning 1: I lösning 1 är det samma mekanism som slätar ut och vänder sida. Det fungerar genom att det är två glasskivor som sitter ihop i en vinkel som slätar ut sidan, och mellan dessa finns en smal springa. När kameran har tagit kort och det är dags att vända sida, skapas ett undertryck i springan. Detta får de två sidor som är i direkt kontakt med glasskivorna att följa med upp. Därefter blåses de båda sidorna över till vänstra bokhalvan med hjälp av ett munstycke som är monterat över högra sidan av boken. När sidan har kommit över på andra sida, går glasskivan ner och sekvensen börja om. Liknande lösningar finns redan¹².

Lösning 2: Lösning 2 liknar lösning 1, men istället för att vända sida genom att skapa undertryck mellan glasskivorna, sköts detta av en robotarm. Robotarmen är monterad mitt framför boken, i höjd med ryggen. Den kan röra sig runt två axlar. När en sida ska vändas, fäller först armen in ett munstycke över boken. Därefter det roterar den första leden tills munstycket får kontakt med sidan. När detta har skett skapas ett undertryck i munstycket och den första leden börjar rotera mot vänstra boksidan. När armen har rört sig förbi mitten börjar den vinklade glasskivan röra sig ner, och när den har hunnit ner så långt att sidan hindras från att åka tillbaka, släpps undertrycket och andra leden fälls upp igen. Medan kamerorna tar kort rör sig armen tillbaks till ursprungsläget. Liknande vändningsmekanismer finns redan på marknaden³.

Lösning 4: Lösning 4 skiljer sig mycket från de två tidigare. Här börjar sekvensen med att ett gummifinger rör sig snett ner mot ett av bokens hörn. När den har fått kontakt rör den sig en bit till, längs med sidan, vilket får den bukta upp. Därefter tar nästa arm över. Den sitter mitt framför boken och roterar horisontellt. Efter att sidan har förts över till andra bokhalvan är det dags för utslätningen. Det sker i detta fall med hjälp av ett par V-formade armar som är monterade på varsin sida av boken, vid ryggen. Dessa rör sig en bit inåt och trycker därefter till i skarven mellan de båda bokhalvorna. När kameran har tagit kort är sekvensen färdig att startas om. Liknande lösningar har redan konstruerats⁴.

1 *Treventus ScanRobot*. 2015. URL: <http://www.treventus.com/automatic-book-scanner-scanrobot.html>.

2 *Hemmabyggt exempel på lösning 1*. 2015. URL: <http://www.diybookscanner.org/forum/viewtopic.php?f=14&t=3125&p=18546&hilit=automatic#p18546>.

3 *Kirtas KABI*. 2015. URL: <http://www.kirtas.com/kabisIII.php>.

4 *Hemmabyggt exempel på lösning 4*. 2015. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=kVM-tjrS2-U>.

Lösning 5: Lösning 5 liknar lösning 4. Det enda som skiljer dem är hur de lyfter upp nästa sida. I lösning 5 löses det genom att en arm med sugmunstycke är monterad rakt ovanför den högra boksidan. Den rör dig rakt ner och suger upp sidan, vilket möjliggör nästa steg i sekvensen.

2.1.3 Elimineringssmatris

Nästa steg är att komma fram till vilken av de framtagna helhetslösningarna som är bäst, i en s.k. elimineringssmatris. Detta görs systematiskt genom att utifrån syftet studera ett antal områden som har särskild betydelse för utgången av projektet, samt vikta dessa beroende av hur viktiga de anses vara. Därefter betygssätts de olika helhetslösningar utifrån hur bra de uppskattningsvis presterar i varje delområde.

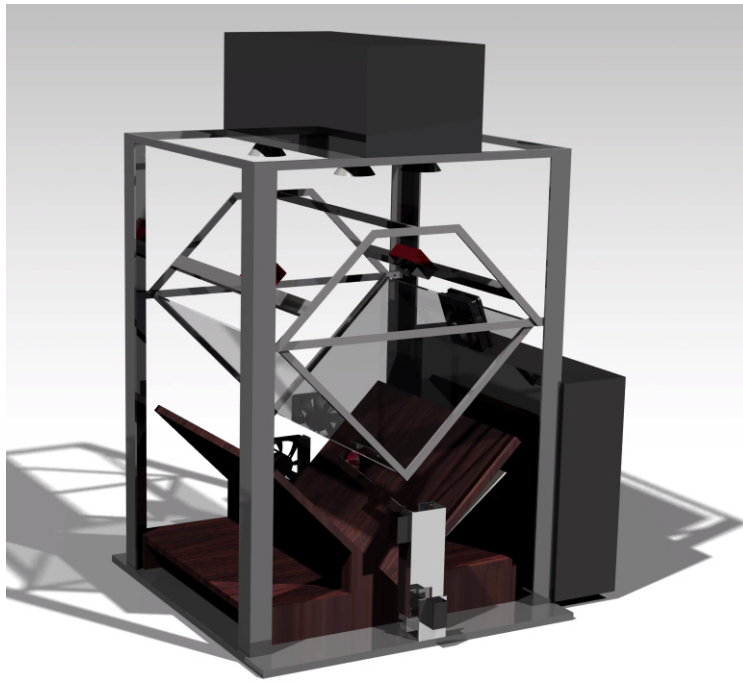
Tabell 4: Elimineringssmatris

Elimineringssmatris					
Kriterier	Vikt	Lösning 1	Lösning 2	Lösning 4	Lösning 5
Skonsamhet	9	1	5	2	4
Felsäkerhet	10	2	5	4	2
Okomplicerad konstruktion	7	5	2	4	2
Energiförbrukning	1	1	2	5	4
Bildkvalitet	4	5	5	3	3
Kalibrering	3	5	4	2	1
Bearbetningstid	3	4	3	5	2
Störning	1	1	2	5	3
Totalt		103	154	129	98

Lösning 2 får mest poäng, och det är därför den lösningen som vidareutvecklas. Den beskrivs mer i detalj i följande kapitel.

2.2 Mekanisk design

I detta kapitel beskrivs den lösning som togs fram i Framtagning av lösningssamt teorin bakom de olika designvalen. För att det skall bli lättare att sätta sig in i de olika delarna beskrivs först helheten i korthet.



Figur 2: Catia rendering av bokskannern

Maskinen består av 3 huvudkomponenter: vaggan, där boken place-ras; kilen, som slätar ut sidorna och där kamerorna sitter samt den kringliggande ställningen som håller ihop allt och där lamporna sit-ter. Nedan beskrivs även skannerns arbetscykel för att klargöra funk-tionen.

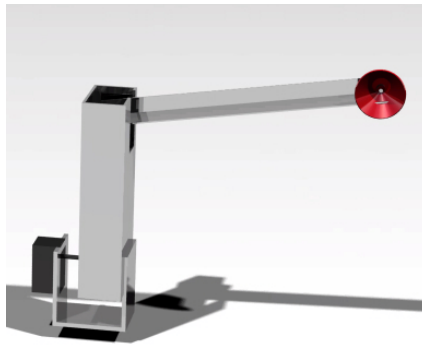
- Robotarmen fälls in i boken och plockar upp sidan med vaku-um och bläddrar.
- Skannern sänker ner glaskilen halvägs
- Robotarmen släpper sidan och fälls ut ur boken.
- Glaskilen sänks ner och kamerorna tar kort.
- Kilen hissas upp och cykeln börjar om.

Detta är en lite kort beskrivning av vad maskinen gör men det borde räcka för att förstå resten av kapitlet där de olika delarna beskrivs i detalj. Nedan är den mekaniska konstruktionen uppdelad efter vilka delproblem de löser.

2.2.1 Lyfta upp och vända sida

Första steget i att vända en sida är att lyfta upp sidan. Kravet är att endast en sida ska lyftas upp och vändas åt gången.

För att lyfta upp och vända sida används en två-ledad robotarm samt två fläktar. Robotarmen är placerad bredvid boken på konstruktionens bottennivå, i linje med bokens centrumlinje. Längst ut på armen sitter ett munstycke i gummi. Från munstycket, längs hela robotarmen dras en tunn slang till en vakuumpump som är placerad i närheten av robotarmens fäste. Armens förflyttningar uträttas av två stycken motorer. Den ena motorn är monterad längs ned på armen vid infästningen i bottenplattan och den andra motorn är monterad vid den ledade punkten på robotarmen (se figur). Motorn vid armens infästningen förflyttar hela armen i en 90° båge kring bokens centrumlinje, alltså 45° på vardera sidan om linjen. Motorn som är monterad på armen faller in den övre delen av armen över boken till bokens centrumpunkt. En av fläktarna är monterad vid sidan av boken, och har till uppgift att få sidan som ska lyftas att separeras från de övriga. Den andra fläkten är placerad på ett sådant sätt att den kan blåsa på den sida som håller på att vändas, för att hjälpa den över. Det mesta av armen är konstruerad i aluminium för att få en bra kombination av lätthet och hållfasthet. Motorfästet till den nedre motorn är tillverkad i stål, där har inte vikten någon betydelse.

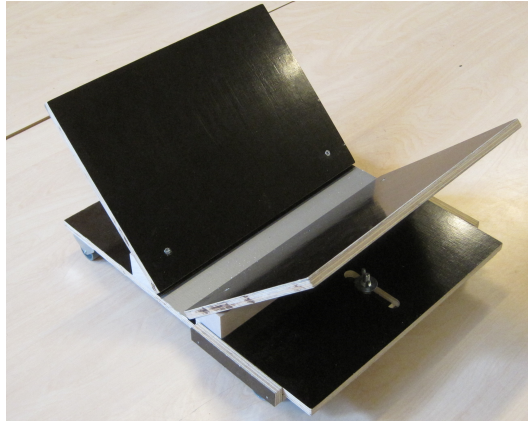


Figur 3: Robotarmen

2.2.2 Utslätning av sida

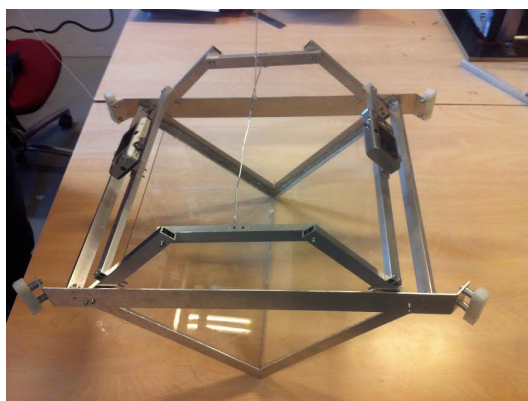
Sidorna i en bok med pärm tenderar att böja sig nära ryggen när man öppnar dem, vilket inte ger ett optimalt resultat vid själva inskanningen. För att lösa detta måste varje sidan göras jämn, samtidigt som metoden ska vara skonsam mot boken.

Problemet blir mer allvarligt ju större öppningsvinkeln är, därför är ett steg i lösningen att öppna boken så lite som möjligt under själva inskanningen. Boken placeras i en vagga, som består av två kilar.



Figur 4: Vagga

Själva utslätningen sker med hjälp av en kil bestående av två glasskivor som sitter sammanfogade i samma vinkel som vaggan. Glaskilen är placerad rakt ovanför vaggan, och hålls uppe med hjälp av en vajer kopplad till en motorn, vilket gör att den kan förflyttas upp och ner. Motorn sitter rakt ovanför kilen på aluminiumstänger som hålls uppe av fyra stålpelare. Dessa pelare fungerar också som skenor som glaskilen glider mot när den hissas upp, för att stabilisera den. Detta med hjälp av klossar i varje hörn av kilen, gjorda i akrylplast för liten friktion. Modulen förflyttas mellan tre olika lägen. Det övre läget är där den befinner sig när robotarmen vänder sida. Mittenpositionen används för att hindra att sidan vänds tillbaka, medan robotarmen fälls uppåt. Den nedre positionen är där modulen vilar med hela sin tyngd på boken, vilket slätar ut sidan medan kameran tar kort. Kilens ramverk är konstruerat i aluminium. I och med att konstruktionen upprepade gånger lyfts upp och ned, krävs en viss hållfasthet, men samtidigt låg vikt. Då är aluminium ett bra alternativ.



Figur 5: Glaskilen

Val av glas

För att få tydliga bilder, ska så mycket som möjligt av det ljus som träffar glasskivorna gå igenom, och inte reflekteras tillbaka. Det finns en typ av glas som heter museiglas. Det är framtaget för att släppa igenom mer ljus än vanligt fönsterglas, och har en ytbehandling för att motverka reflexer. Det hade varit optimalt att använda i detta projekt, dock är det dyrt och budgeten tillåter inte användning av det. Istället används vanligt fönsterglas, vilket fungerar tillräckligt bra för projektets ändamål.

Val av vinkel mellan glasskivorna

Det finns två faktorer som styr vinkeln på glaset. För att inte skada boken ska vinkeln vara så liten som möjligt, men med en liten vinkel på glaskilen kommer de två glasskivorna reflektera sig i varandra. I värsta fall kan det göra bilderna oläsliga. Reflektionen på glasytan följer reflektionslagen d.v.s.

$$\theta_i = \theta_r \quad (1)$$

där θ_i är vinkeln på det infallande ljuset och θ_r är vinkeln på det reflekterade ljuset, båda i förhållande till glasskivans normal. För att helt undvika reflektion mellan glashalvorna måste vinkeln mellan dem vara ungefär 120° (se figur 11 i appendix) Med mindre vinkel än så reflekteras ljuset mellan plattornabada. En kompromiss med en vinkel på 90° (se figur 12 i appendix) används, det har även den fördelen att konstruktionen är förhållandevis enkel.

2.2.3 Digitalisering

Digitalisering innefattar hur den fysiska texten på ett papper ska omvandlas till en digital bild. Kravet är att omvandla informationen i boken till ett digitalt bildformat. De digitala bilder som produceras ska ha en upplösning på minst 300 dpi. Två stycken digitalkameras används. Dessa är monterade i samma modul som glaskilen, och kommer röra sig upp och ner tillsammans med den. Kamerorna placeras på varsin sida rakt ovanför glasskivorna, Med hjälp av mjukvara installerat i kameran avfyras dem genom att skicka en puls från mikrokontrollern⁵. Val av kamera För att beräkna hur många pixlar

⁵ Mjukvara för automatisk avfyrning. 2015. URL: http://chdk.wikia.com/wiki/USB_Remote.

kameran måste ha, för att få en upplösning på 300 dpi, används formeln⁶

$$N = \frac{(R \cdot L \cdot 0.39)^2}{F} = \frac{(300 \cdot 30 \cdot 0.39)^2}{4/3} = 9.2Mpx \quad (2)$$

där N är antalet pixlar, R är den krävda upplösningen och F är förhållandet mellan bildens bredd och höjd, där ett vanligt värde för digitalkameror är 4:3. L är den största längd/bredd i centimeter på den sida som ska fotograferas. Enligt kravspecifikationen 30 cm. Det framräknade värdet förutsätter att endast sidan kommer med på kortet, detta är dock inte troligt. Det beror dels på att det är svårt att ställa in kameran så exakt, men framförallt för att de flesta sidor inte har samma bredd-höjd-förhållande som bilden.

2.2.4 Hantering av varierande bokparametrar

Eftersom en del parametrar kommer variera mellan de böcker som skannas in, ska produkten gå att anpassa för detta. Samtliga bokparametrar som står listade i kravspecifikationen ska kunna hanteras. De flesta av dessa är dock inte så olika att det behövs någon speciell anpassning i den mekaniska konstruktionen. Ett undantag är varierande storlek. Robotarmen träffar sidan i mitten i längsled, och boken placeras centrerat i vaggan. Därför är inte varierande längd något problem. Den varierande bredden löses genom att höjden där munstycket träffar sidan är anpassat för den minsta sidbredden. Det som kräver justering är varierande bokatjocklek. Detta löses genom att den ena av de två kilar som bildar vaggan, går att justera i sidled. En skruv som sticker upp från bottenplattan, passar i en skåra i kilen. Det gör att det är möjligt att anpassa vaggan efter hur tjock boken är, och därefter skruvas kilen åt med en vingmutter.

2.2.5 Ljussättning

För att få bilder med tillräckligt hög kvalitet är det viktigt att rätt typ av ljus träffar sidan. Kravet är att sidorna som ska fotograferas är tillräckligt ljusa för att producera tydliga bilder samt att det inte finns några störande reflexer på dem. Lösningen på problemet är en kombination av rätt sorts lampor, placering av lamporna samt avskärmning av ljus och reflexer från omgivningen.

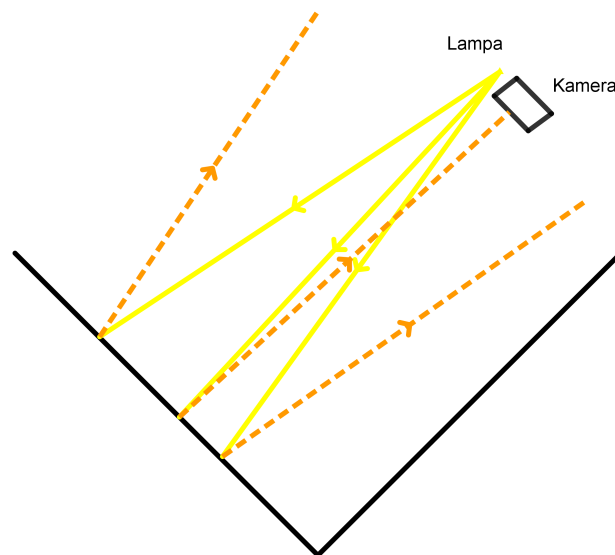
Val av lampor De viktigaste parametrarna att ta hänsyn till vid val av lampor är framför allt hur mycket ljus som träffar sidorna samt vilken färgton detta ljus har. Det är inte avgörande hur många lampor

⁶ Formel för beräkning av minsta kameraupplösning. 2015. URL: <http://wiki.diybookscanner.org/camera-resolution>.

som används, utan det viktigaste är det totala ljusflödet, vilket mäts i Lumen (lm). Ju mer ljusflöde desto bättre, men det finns en gräns där mer ljus inte bidrar nämnvärt till tydligare bilder. I produkten används en ljusstyrka på 1500 lm uppdelat på fyra lampor. Färgen på ljuset mäts i Kelvin (K). För att få så tydliga kontraster som möjligt mellan den (i huvudsak) svarta texten och den vita sidan, används kallt vitt ljus. Det motsvarar ungefär en färgtemperatur på 6500 K. Lamporna är av typen LED.

Placering av lampor

Förutsatt att tillräckligt starka lampor används, har placeringen av lamporna framförallt betydelse för att undvika reflexer i kamerans riktning. Med hjälp av reflektionslagen (ekvation 1) är det möjligt att undersöka vilka placeringar som skapar problem⁷. Som syns tydligt i figur 6 resulterar placering av lamporna i samma vinkel som kameran att det uppstår reflexer direkt mot linsen på kameran

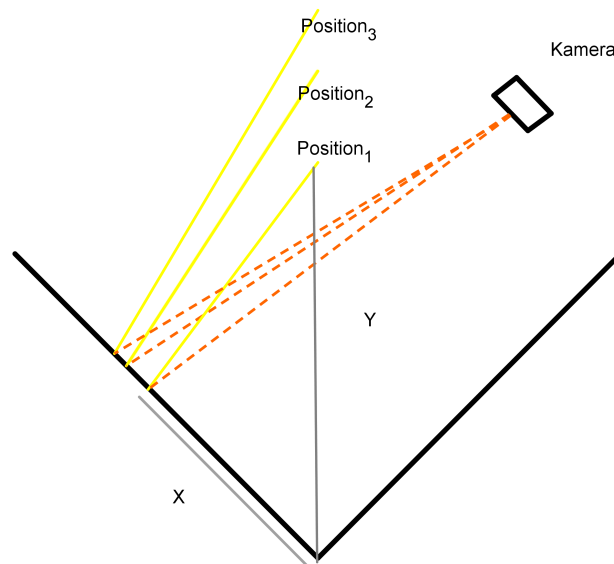


Figur 6: Lampplacering-vinkel

Därför placeras lamporna rakt ovanför boken, mellan kamerorna. Det går dock inte helt att undvika reflexer i kamerans riktning även med denna placering. Lösningen på detta är att montera lamporna tillräckligt högt över boken (avståndet Y i figur 7). Ju högre upp lamporna monteras desto högre upp på sidan hamnar reflexen som

⁷ Diskussion om kilvinkeln och lampplacering. 2015. URL: bookscanner.org/forum/viewtopic.php?f=17&t=1149&p=11145&hilit=platten+angle#p11145.

träffar kameran (på avståndet X från ryggen). Därför monteras lamporna på samma konstruktion som håller upp motorn till glaskilen. Då hamnar reflexen utanför boksidan, dvs X blir större än den maximala sidbredden.



Figur 7: Lamplacering-höjdled

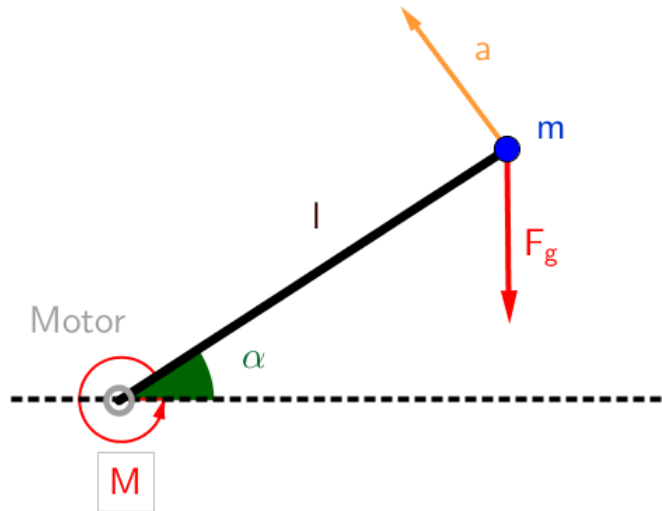
2.2.6 Justering för asymmetrier

I början av processen kommer högra delen av den uppslagna boken att vara tjockare. Detta kommer successivt att ändras, tills förhållandet mot slutet är helt omvänt. Kravet är att dessa asymmetrier ska justeras, så att inte kameran missar något av innehållet på grund av detta. Detta löses genom att modulen med glasskivorna och kameran, lamporna samt infästningen för robotarmen är fixerade i horisontalled, medans bokvaggan inte är det. Bokvaggan är monterad på skenor, vilket gör att den kan röra sig horisontellt. När modulen går ner för att platta till sidorna förs därför vaggan automatiskt i rätt läge av glaskilen. Detta gör att avståndet mellan kameran och sidan den ska ta kort på alltid är det samma.

2.3 Val av motorer & pump

Den viktigaste parametern att ta hänsyn till vid valet av motorer och pump är vilket maximalt moment respektive undertryck de måste producera. Då en snabb acceleration för motorerna inte är avgörande

för detta projekt, kommer det inte tas med i beräkningarna. Bara det moment som krävs för att hålla armen stilla kommer beräknas. Motorerna överdimensioneras, och det extra moment som inte behövs för att motverka tyngdkraften ger en acceleration, som är tillräcklig. Momentet beräknas genom att ställa upp en kraftekvation för den massa som motorn ska accelerera.



Figur 8: Kraftekvation

$$M = l \cdot F_g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

där F_g är kraften som beror på tyngdaccelerationen, α är vinkeln i förhållande till horisontalplanet och l är avståndet från rotationscentrum som krafterna verkar. Totalt moment som motorn behöver producera för att lyfta alla massor beräknas genom ekvationen.

$$M_{tot} = g \cdot \cos \alpha \sum m_i \cdot l_i \quad (4)$$

2.3.1 Robotarm

Det moment som den övre motorn behöver övervinna beror framförallt på vikten av aluminiumarmen och luftslangen, som verkar på ett avstånd av halva armens längd och munstycket som verkar på ett avstånd av hela armens längd. Armen som motorn styr rör sig mellan två lägen, och maximal belastning på motorn är i läget parallellt

med horisontalplanet, d.v.s. då $\alpha = 0^\circ$. Vikterna är uppskattade och längderna är hämtade från ritingen.

$$\begin{aligned} M_{ovre} &= g \cdot \cos 0^\circ \cdot ((m_{slang} + m_{al}) \cdot l_{halva} + m_{munstycke} \cdot l_{hela}) \\ M_{ovre} &= 9.82 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot ((2 + 5.4) \cdot 10 + 10 \cdot 2) \approx 0.27 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (5)$$

Den nedre motorn på robotarmen ska kunna bära upp den övre motorn, munstycket, hela aluminiumarmen samt en lika lång bit slang som är fäst på den. Maximal belastning på denna motor uppkommer i ytterlägena, d.v.s. när den hämtar respektive lämnar sidan. Med tanke på hur vaggan är konstruerad kan α som mest vara 45° respektive 135° .

$$\begin{aligned} M_{nedre} &= g \cdot \cos 45^\circ \cdot ((m_{slanghela} + m_{al} + m_{servo}) \cdot l_{halva} + m_{munstycke} \cdot l_{hela}) \\ M_{nedre} &= 9.82 \cdot 0.7 \cdot 10^{-2} \cdot ((2 + 1.4 + 9.18 + 5.5) \cdot 17 + 2 \cdot 34) \approx 0.26 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (6)$$

De motorer som används är överdimensionerade med en faktor tre, detta för att kompensera för friktionsförluster och felmarginal i beräkningarna. Motorerna som används i armen är servomotorer, detta för att det går att styra dem till bestämda gradtal. Det gör att det inte behövs extra sensorer för att bestämma dess position.

2.3.2 Glaskil

Hävarmen för den motor som hissar upp glaskilen blir endast radien på upprullningshjulet (som uppskattas till 2 cm) där $\alpha = 0^\circ$ som är vinkeln mellan horisontalplanet och hävarmen. De vikter som behöver tas hänsyn till är framför allt, två kameror, två glasskivor samt aluminiumramverket. Vikten på kamerorna och glasskivorna är uppskattade, och vikten på aluminiumramverket är beräknat utifrån ritningen.

$$\begin{aligned} M_{tot} &= g \cdot \cos 0^\circ \cdot (2 \cdot m_{kamera} + 2 \cdot m_{glas} + m_{al}) \cdot r \\ M_{tot} &= 9.82 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 0.130 + 2 \cdot 0.9 + 1) \cdot 0.02 \approx 0.6 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (7)$$

Den motor som används är överdimensionerad med en faktor 1,5. Anledningen till att inte lika stor marginal används här som för de tidigare motorerna är att här är det förhållandevis enkelt att minska belastningen, genom att minska radien på upprullningshjulet. Motorn är av typen stegmotor. Den förflyttas med en viss vinkel varje gång den mottar en styripuls. Det gör att den kan styra till samma position upprepade gånger med hög noggrannhet, vilken eliminerar behovet av en sensor för att känna av dess position. Den är dessutom

lämplig när det gäller att hålla något still i en exakt position, något som kommer behövs vid styrning av glaskilen.

2.3.3 Pump

För att välja pump genomfördes teoretiska beräkningar för att uppskatta vilket undertyck den är tvungen att producera. Dessa infattade beräkning av tyngdkraften som verkar på sidan, den kraft som uppkommer när robotarmen accelererar sidan samt det luftmotstånd som uppkommer när den har fått upp en hastighet. Slutligen lades dessa krafter ihop för att beräkna undertrycket mellan munstycke och sida för att motverka dessa krafter. Resultatet av uträkningen blev dock alltför lågt för att vara rimligt i en verklighets situation. Detta beror troligen på att endast den kraft som krävs för att hålla uppe sidan när ett undertyck redan existerar, beräknades. För att skapa ett undertryck från början krävs det ytterligare kraft för att få munstycket och sidan att sluta helt tätt. Istället testas två olika typer av pumpar som uppskattningsvis har rätt storlek, och den av dem som klarar av att suga fast och hålla kvar sidan används.

2.4 Elektronik

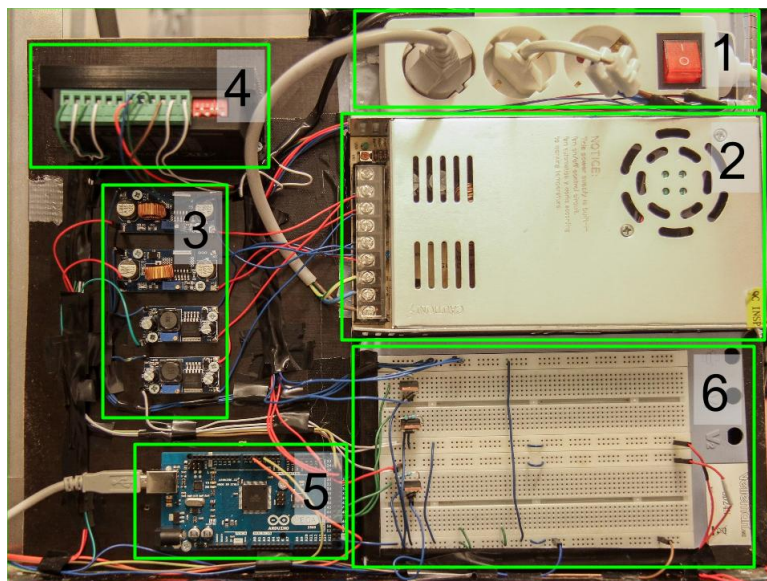
En mikrokontroller används, för att styra motorerna samt för att skicka information från och till användaren via en bärbar dator.

Det finns flera alternativ vid val av mikrokontroller, men de som är mest välkända och användbara för denna typ av 'hobbyapplikation' är förmodligen Raspberry Pi⁸ och Arduino. För detta projekt är Arduino mest lämplig, då det handlar om ganska enkel elektromekanik och inget som direkt rör grafik eller nätverk⁹.

Huvuddelen av elektroniken är monterad på en platta som är fäst vertikalt på den statiska konstruktionen, med undantag för aktuatorerna, belysningen och kamerorna. En bild av denna platta kan ses i figur 9. Här följer en förklaring av vad som kan ses i varje enskild ruta i figuren.

⁸ *Raspberry Pi's hemsida*. Febr. 2015. URL: <http://www.raspberrypi.org/>.

⁹ James Bruce. *Arduino vs Raspberry Pi: Which Is The Mini Computer For You?* Febr. 2015. URL: <http://www.makeuseof.com/tag/arduino-vs-raspberry-pi-which-is-the-mini-computer-for-you/>.



Figur 9: Översikt av elektroniken

1: **Grendosan**, med tre uttag samt strömbrytare är ansluten till ett 230 volt vägguttag. Det första uttaget är kopplat via en skalad apparatkabel till nätaggregatet, den andra till belysningen och det tredje uttaget är ämnat för laddning av den bärbara dator som används för att styra inskanningen. Strömbrytaren på grendosan fungerar som ett nödstop om fel skulle uppstå under inskanningsprocessen.

2: **Nätaggregatet** omvandlar 230 volt växelspänning från grendosan till 24 volt likspänning som sedan fördelas vidare ut till stegmotorn, styrkortet för stegmotorn och buck-omriktarna.

3: **Buck-omriktarna** (nedspänningsomriktarna) omvandlar ner 24 volt spänningen från nätaggregatet till önskad spänning, som regleras genom en skruv på respektive omriktare. Anledningen till att fyra stycken buck-omriktare används är dels på grund av att två olika spänningsnivåer behövs, 12 volt för fläktarna och pumpen och 7 volt för servomotorerna, vilket innebär att åtminstone två omriktare behöver användas. Samtidigt finns det en begränsning på 3.3 A som är maxströmmen som kan dras från en omriktare. För att inte riskera att överstrida denna gräns och överbelasta omriktarna fördelas strömförsörjningen ut över fyra buck-omriktare samtidigt som det blir smidigt att reglera spänningen till en av aktuatorerna utan att påverka de andra.

4: **Styrkortet** till stegmotorn drivs direkt från nätaggregatets 24 volt och förser i sin tur den bipolära stegmotorn med sin ström. Styrkortet tar emot signaler från mikrokontrollern och omvandlar de vidare till signaler som kan tolkas av stegmotorn.

5: **Mikrokontrollerna**s flesta utportar går till kopplingsbrädan, där den styr olika transistorer. Servomotorernas signalkablar är direkt kopplade till mikrokontrollern, likaså de kablarna som överför de elektroniska avtryckarsignalerna till kamerorna och signalkablar till styrkortet.

6: **Kopplingsplattan** innehåller de transistorkopplingar som tar emot styrsignaler från mikrokontrollen och sluter strömförsörjningen till fläktarna och pumpen och på så vis aktiverar dessa under önskad tid och vid önskat tillfälle. På kopplingsplattan finns också den gemensamma jorden dit de flesta komponenternas minuspol är kopplad.

2.5 Programmering

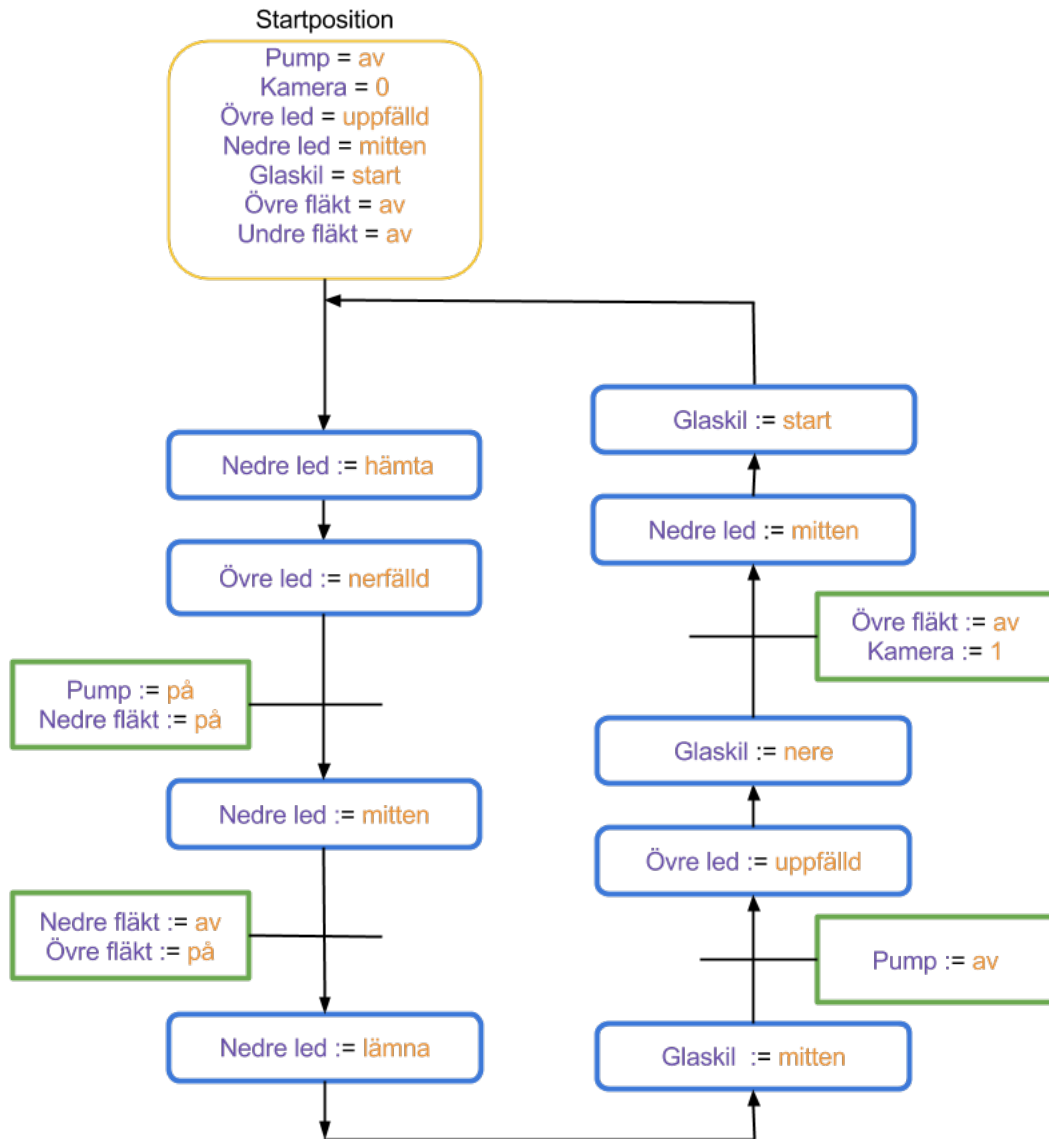
Programmet är uppbyggt i två huvuddelar, inskanningssekvensen och det övergripande styrprogrammet.

Inskanningssekvensen är en loop som skannar in sida efter sida tills den avbryts manuellt eller tills bokskannern skannat in så många sidor som är angivet. Inskanningssekvensen kan i sin tur delas in i deloperationer som framförallt innefattar styrningen av robotarmen och glaskilen. Alla deloperationer i sekvensen kommer ske sekvensiellt. Som tidigare beskrivet har glaskilen och robotarmens båda leder ett antal positioner de kommer förflyttas mellan. Positioneringen av robotarmens leder anges i koden i grader, mellan 0° till 180° medan stegmotorn tar emot antal steg och rotationsriktning som insignaler för sin positionering. Kameran får en kort puls när den ska ta kort, annars är värdet på styrsignalen 0. Pumpen, samt fläktarna är antingen av eller på. Följande lista visar vilka olika tillstånd styrobjekten kan anta.

- *Glaskil* $\in \{\text{start, mitten, nere}\}$
- *Robotarm*
 - Övre led $\in \{\text{uppfälld, nerfälld}\}$
 - Nedre led $\in \{\text{hämta, lämna, mitten}\}$
- *Kamera* $\in \{0, 1\}$
- *Pump* $\in \{\text{av, på}\}$
- *Fläkt* $\in \{\text{av, på}\}$

Nedan följer ett flödeschema över inskanningssekvensen. Den är uppbyggd av delfunktioner som utförs i sekvens. En delfunktion kommer flytta det angivna objektet (t.ex. glaskil) tills det antar det angivna värdet (t.ex. mitten). Programmet går vidare till nästa tillstånd när den angivna aktiviteten är avklarad. Mellan delfunktionerna sker

övergångar, det som står angivet i dem representerar händelser som utförs direkt.



Figur 10: Flödesschema av inskanningssekvensen

Inskanningssekvensen är skriven i Arduinos egna utvecklingsmiljö och programmeringsspråk, som är en variant av programmeringsspråket C. Båda språken är maskinnära och väldokumenterade vilket gör de till bra alternativ.

Styrprogrammet låter användaren kommunicera med mikrokontrollern via en uppsättning av kommandon från den bärbara datorn samt tillhandahåller användaren med information om inskanningsprocessen via ett grafiskt gränssnitt på datorn.

Kommandona anges i textform via datorns tangentbord. Vid inskrivning av ogiltigt kommando informeras användaren om detta och

uppmannas ange ett giltigt kommando via utskriften "Invalid entry, please enter a valid command". Vid godtyckligt tillfälle i styrsekvensen kan användaren ange kommandot 'help' för att få upp en lista med giltiga kommandon för det aktuella steget. Användaren informeras om detta i högra-nedre hörnet med texten, "For a list of available commands type 'help'" i samtliga steg i programmet. Styrprogrammet är skrivet i Processing som är baserat på programmeringsspråket Java men har en förenklad syntax. Processing används ofta vid datakommunikation mellan Arduino och PC över USB och har många inbyggda funktioner för detta, vilket gör det lämpligt för ändamålet.

2.6 Bildbehandling

När en bok har blivit inskannad krävs en del efterbehandling för att bilderna ska bli användbara. Detta ingår egentligen inte i projektet. En metod för detta har ändå tagits fram, bland annat för att kunna verifiera att bilderna som tas har tillräckligt hög kvalitet enligt kravspecifikationen. Detta kommer göras med hjälp av programvaror som användaren behöver ha installerat på sin dator. Användaren lägger manuellt över bilderna från de båda kamerorna till sin dator, och placerar dem i en gemensam mapp, antingen med hjälp av en USB-kabel eller ett minneskort. Därefter kommer två olika programvaror användas.

- Eftersom att produkten klarar av olika sidstorlekar kommer det med onödig information på bilderna. Därför behöver bilderna beskäras. Det utförs med hjälp av en programvara som dessutom rästar ut bilderna om kortet har blivit snett. Användaren får själv ställa in hur mycket som ska beskäras och rästat ut på den första bilden. Därefter använder programmet samma inställningar för resten av sidorna.
- Nu är bilderna beskurna, men de ligger fortfarande som enskilda bilder, vilket är opraktiskt om bilderna ska läsas som en bok. Ett kommersiellt program används, som lägger samman alla bilder till en pdf-fil. En av de stora fördelarna med att ha en bok digitalt är möjligheten att söka i texten. För att uppnå detta med de inskannade bilderna krävs det en avancerad algoritm som kan översätta bilderna till text. Området kallas OCR (Optical Character Recognition¹⁰) och det finns ett antal olika tekniker. Det program som används behåller bilderna men lägger på ett lager med riktig text, vilket gör dokumentet sökbart. I figur 13 och 14 i appendix finns exempel på en bild som har efterbehandlats.

¹⁰ *Optical Character Recognition*. 2015.

3 Resultat

Syftet med projektet var att konstruera en produkt som klarar av att automatiskt skanna in ett godtyckligt antal sidor i en bok utan mänsklig hjälp efter att processen har startats. Detta mål har uppnåtts till viss grad.

För att verifiera att produkten mer i detalj uppfyller de krav som ställdes på den i början genomfördes test med ett antal böcker. Under tidigare testkörningarna visade det sig att den mest avgörande faktorn var vilken typ av papper som sidorna var tryckta på, bestrukna eller obestrukna. Så länge som de andra parametrarna höll sig inom kravspecifikation hade de ingen betydelse för utgången av testen. Tidigare under projektet gick stegmotorn sönder, och den nya som beställdes hann inte fram i tid. Därför gjorde de avslutande testkörningarna utan kilen. Kilen och kamerorna fungerade dock felfritt under de tidigare testkörningarna, och avsaknaden av dem borde därför inte ha någon avgörande betydelse för följande resultat. Genom att manuellt sköta kilens justering vaggan i sidled, går det att få en förhållandevis korrekt inskanningssekvens.

- **Bestrukna:** De böcker som var tryckta på bestruket papper fungerade relativt bra. Under de avslutande testkörningarna klarade den av att vända en sida i 62% av inskanningssekvenserna. De övriga gångerna tappade armen taget om sidan för tidigt och ingen sida vändes.
- **Obestrukna:** De böcker som var tryckta på obestruket papper fungerade inte alls. Varje gång armen gick ner för att lyfta upp en sida fick den med sig för många. En del av sidorna släppte på vägen upp men det var nästan alltid mer än en som bläddrades över. En diskussion om detta finns i nästkommande kapitel.

Förrutom kravet på att kunna skanna in obestrukna sidor samt kravet på felsäkerhet, uppfylldes samtliga krav.

4 Diskussion

I detta kapitel följer en miljöanalys samt en diskussion om oförutsedda problem som har stöts på i projektet, möjliga förbättringar och en slutsats.

4.1 Miljö- och hållbarhetsanalys

Projektets mål har varit att bygga en skanner, som klarar av att digitalisera en hel bok utan avbrott. Ur ett hållbarhetsperspektiv så är detta intressant av flera skäl. För att trycka böcker så används trä och andra råvaror. Genom att inte trycka dem utan istället distribuera dem digitalt så går en bok från att vara en relativt stor pappersklump till att vara en relativt liten fil. Således blir distribution enklare och kräver varken transporter eller fysiskt lagringsutrymme. Med digitalisering kan ett helt bibliotek rymmas i en dator vilket leder till energibesparingar. Det optimala ur miljösynpunkt hade naturligtvis varit att göra böckerna digitala från början. Miljövinster med produkten kommer framförallt från inskanning av äldre böcker, där det inte finns någon digital kopia. Själva produkten består bortsett från elektroniken av stål, aluminium och trä vilka är miljövänliga då de är återvinnings- respektive förnyelsebara. De olika material som ingår i produkten är relativt väl separerade, och de olika delarna är i huvudsak ihopsatt med skruv och mutter, vilket gör det möjligt skruva isär och återvinna de olika materialen var för sig. Det mesta av elektroniken sitter monterad lättåtkomligt utanpå konstruktionen och går relativt enkelt att separera från resten av konstruktionen för enklare återvinning.

4.2 Oförutsedda problem

Det uppkom en antal problem under projektets gång som inte hade identifierats i förväg och som skapade extra arbete. Några av dem löstes men några räckte inte tiden till för.

Den första versionen av robotarmen blev för vinglig och fick göras om, vilket tog onödigt mycket tid. Det berodde i huvudsak på att armen endast var fäst på ena sidan vid den nedre infästningen, vilket fick armen att luta inåt mot boken; samt att det inte fanns någonting vid den övre leden som höll emot, när armen tryckte mot boken för att plocka upp sidan. Det löstes genom att fästa den nedre leden på ytterligare ett ställe, samt att lägga till en skåra som den övre leden går in i, när den går ned för att plocka upp sidan.

Ett problem som uppstod med sidvändningsmekanismen var att sugarmen ibland fick med sig ett stort antal för många sidor. Detta fel uppstod endast med den typ av sidor som inte är bestrukna, och berodde troligtvis på att de är mer porösa än de bestrukna. Vilket gör att luften kan åka rakt igenom. Detta hade till viss del tagits med i beräkningen, och planen var att justera ner sugstyrkan tills dess att bara en sida kom med. Det fungerade dock inte, det gick inte att hitta något läge där bara en sida följde med. Några ändringar i inskanningssekvensen gjordes för att försöka komma över detta. Istället för att gå ner och trycka mot sidorna stannade munstycket en bit ovanför, och iden var fläkten som sitter på sidan skulle blåsa upp sidan mot munstycket så det fastande istället. Det fungerade något bättre, men det fanns inte tid att optimera den lösningen.

En övre fläkt lades också till ifrån den ursprungliga designen. Fläkten ser till att hjälpa sidan som ska vändas över om munstycket tappar sidan tidigare än avsett. Riktningen på den luftström som fläkten skapar är kritisk. Om strömmen riktas för lågt orsaker den vändning av fler sidor än en. Om den riktas för högt kan den inte applicera tillräckligt stor kraft på sidan för att lyckas vända den. Genom att täcka över den undre delen av fläktens utmynning lyckades fläktens riktning begränsas till önskat område.

4.3 Förbättringar

Den färdiga produkten har en stor potential att vidareutvecklas. Det första som en användare märker är att ljudnivån, som visserligen uppfyller kravspecifikationen, är hög. Detta beror framför allt på två faktorer, vakuumpumpen och stegmotorn som hissar kilen upp och ner. Vakuumpumpen har en hög ljudnivå och skulle behöva dämpas genom att montera någon typ av ljuddämpning runt den. Stegmotorn producerar ljud genom att det inte finns någon bra dämpning i motorfästet vilket gör att hela konstruktionen vibrerar. Vidare så är den statiska konstruktionen skev vilket ger upphov till att kilen bitvis skrapar mot skenorna vilket gör att kilen inte går ner helt rakt. När det gäller kilen så är den i stort sett enligt ritningarna. Med detta sagt så är ritningar långt ifrån optimala, istället för att bygga den av fyrkantströr hade en konstruktion av bockad aluminiumplåt blivit lättare att realisera och antagligen blivit exaktare. Allt för mycket tid spenderades på att bygga kilen.

En stor vidareutvecklingsmöjlighet finns genom implementeringen av en mer avancerad mjukvara. Även om en metod för efterbehandling av bilderna har tagits fram kräver den en del arbete av användaren. Ett första steg kan därför vara att helt automatisera den processen. Att bilderna automatiskt laddas upp till datorn samt efter-

behandlas, för att därefter laddas upp på en server. Med mer avancerad mjukvara kommer också möjligheten att automatiskt upptäcka om t.ex. produkten har missat någon sida. Detta genom att automatiskt analysera de tagna bilderna och läsa sidnummrena för att se om någon sida fattas. Som konstruktionen ser ut idag är det kritiskt hur vaggan, kilen och kamerorna är placerade för att få tydliga och raka bilder. Med mer avancerad efterbehandling av bilderna minskar kraven på den fysiska konstruktionen.

Problemet med att sugmunstycket får med sig för många sidor när den hanterar obestrukna sidor är något att lösa i en förbättrade version. Hur det skulle lösas är inte helt säkert. Den metod som valdes för att vända sida i detta projekt, med sugmunstycke är svår att få att fungera med den typ av sidor. Det är möjligt att ett annat munstycke med annan design eller annat material hade antagligen fungerat bättre men problemet hade nog till viss del kvarstått. Det är möjligt att en konstruktion med ett gummifinger som trycker upp sidan fungerar bättre.

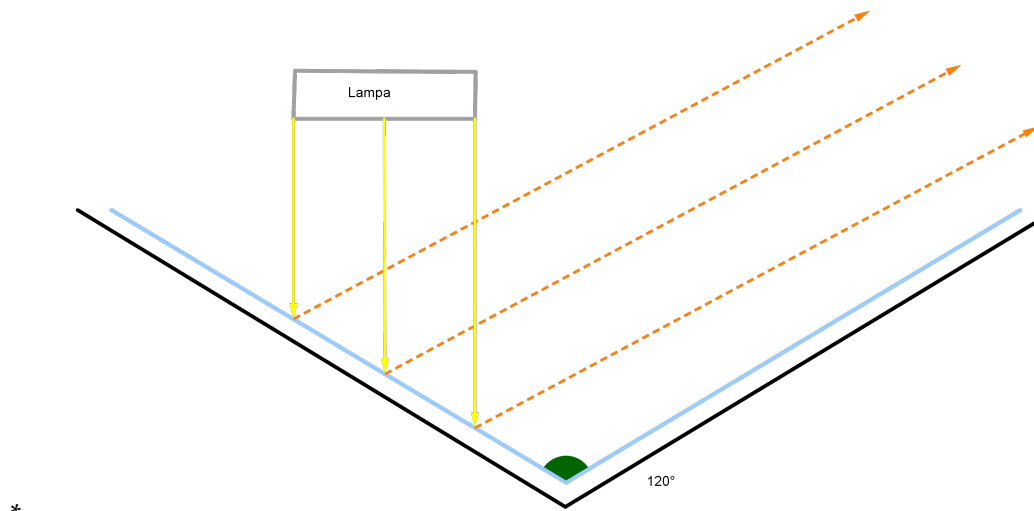
4.4 Slutsats

Den framtagna produkten löser på det stora hela problemet med hur man automatiskt digitaliserar en bok. Även om en del problem fortfarande kvarstår demonstrerar produkten ett bra koncept, som är möjligt att vidareutveckla. Framför allt att förbättra produkten så att den även klarar av obestrukna sidor är något att arbeta vidare med.

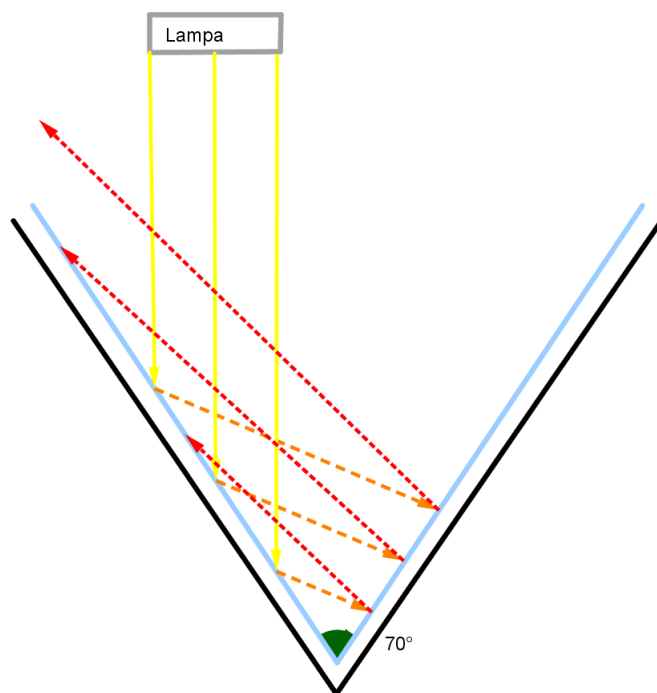
Litteratur

- Michaelson, Elizabeth. "Book Scanners". I: *Library Journal* 139 (5 2014).
- Metz, Cade. *Google Books*. Febr. 2015. URL: <http://www.wired.com/2013/11/google-2/>.
- diybookscanner.org - forum*. Febr. 2015. URL: <http://www.diybookscanner.org/forum/>.
- Exempel på kunder*. Febr. 2015. URL: <http://www.qidenus.com/home/customers/>.
- Qidenus ROBOT Book Scan 3.0*. Febr. 2015. URL: <http://www.qidenus.com/product/robotics>.
- Linear Book Scanner*. Febr. 2015. URL: <http://linearbookscanner.org/>.
- BFS-Auto Ishikawa Watenabe Laboratory*. Febr. 2015. URL: <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/BFS-Auto/>.
- Tabell med ljudnivåer*. Febr. 2015. URL: <http://www.industrialnoisecontrol.com/comparative-noise-examples.htm>.
- Treventus ScanRobot*. 2015. URL: <http://www.treventus.com/automatic-book-scanner-scanrobot.html>.
- Hemmabyggt exempel på lösning 1*. 2015. URL: <http://www.diybookscanner.org/forum/viewtopic.php?f=14&t=3125&p=18546&hilit=automatic#p18546>.
- Kirtas KABI*. 2015. URL: <http://www.kirtas.com/kabisIII.php>.
- Hemmabyggt exempel på lösning 4*. 2015. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=kvM-tjrS2-U>.
- Mjukvara för automatisk avfyrning*. 2015. URL: http://chdk.wikia.com/wiki/USB_Remote.
- Formel för beräkning av minsta kameraupplösning*. 2015. URL: <http://wiki.diybookscanner.org/camera-resolution>.
- Diskussion om kilvinkeln och lampplacering*. 2015. URL: [bookscanner.org/forum/viewtopic.php?f=17&t=1149&p=11145&hilit=platten+angle#p11145](http://www.diybookscanner.org/forum/viewtopic.php?f=17&t=1149&p=11145&hilit=platten+angle#p11145).
- Raspberry Pi's hemsida*. Febr. 2015. URL: <http://www.raspberrypi.org/>.
- Bruce, James. *Arduino vs Raspberry Pi: Which Is The Mini Computer For You?* Febr. 2015. URL: <http://www.makeuseof.com/tag/arduino-vs-raspberry-pi-which-is-the-mini-computer-for-you/>.
- Optical Character Recognition*. 2015.

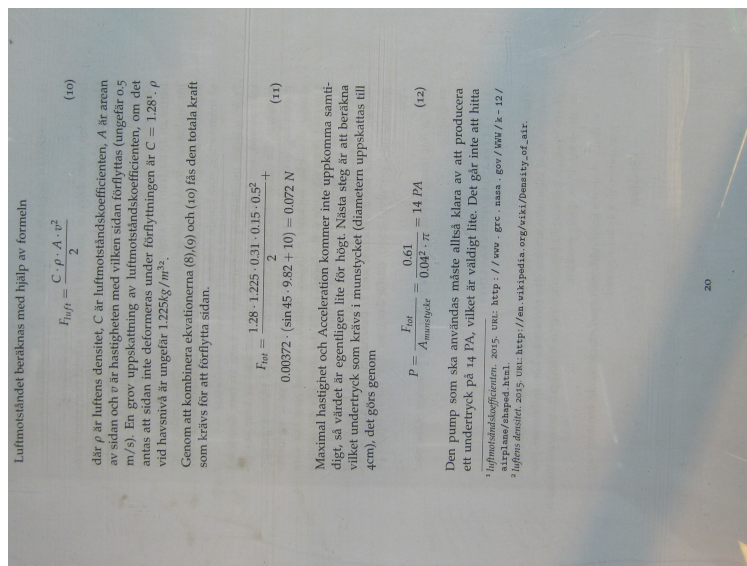
5 Appendix



Figur 11: Ljusreflektioner med en kilvinkel på 120°



Figur 12: Ljusreflektioner med en kilvinkel på 70°



Figur 13: Originalbild

Luftmotståndet beräknas med hjälp av formeln

$$F_{luft} = \frac{C \cdot \rho \cdot A \cdot v^2}{2} \quad (10)$$

där ρ är luftens densitet, C är luftmotståndskoefficienten, A är arean av sidan och v är hastigheten med vilken sidan förflyttas (ungefär 0.5 m/s). En grov uppskattning av luftmotståndskoefficienten, om det antas att sidan inte deformeras under förflyttningen är $C = 1.28^1$. ρ vid havsnivå är ungefär 1.225 kg/m^3 .

Genom att kombinera ekvationerna (8),(9) och (10) fås den totala kraft som krävs för att förflytta sidan.

$$F_{tot} = \frac{1.28 \cdot 1.225 \cdot 0.31 \cdot 0.15 \cdot 0.5^2}{2} + 0.00372 \cdot (\sin 45 \cdot 9.82 + 10) = 0.072 \text{ N} \quad (11)$$

Maximal hastighet och Acceleration kommer inte uppkomma samtidigt, så värdet är egentligen lite för högt. Nästa steg är att beräkna vilket undertryck som krävs i munstycket (diametern uppskattas till 4cm), det görs genom

$$P = \frac{F_{tot}}{A_{munstycke}} = \frac{0.61}{0.04^2 \cdot \pi} = 14 \text{ PA} \quad (12)$$

Den pump som ska användas måste alltså klara av att producera ett undertryck på 14 PA, vilket är väldigt lite. Det går inte att hitta

¹ luftmotståndskoefficienten. 2015. URL: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/ahaped.html>.

² luftens densitet. 2015. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air.

Figur 14: Efterbehandlad bild

Tabell 5: Komponentlista

Komponent	Antal	Pris
servomotor	2	228
vakuumump	1	200
lampa LED	4	257
Glasskiva	2	120
Arduino	1	362
Nätaggregat	1	262
Stegmotor	1	228
styrkrets Stegmotor	1	133
Buck omvandlare	6	74