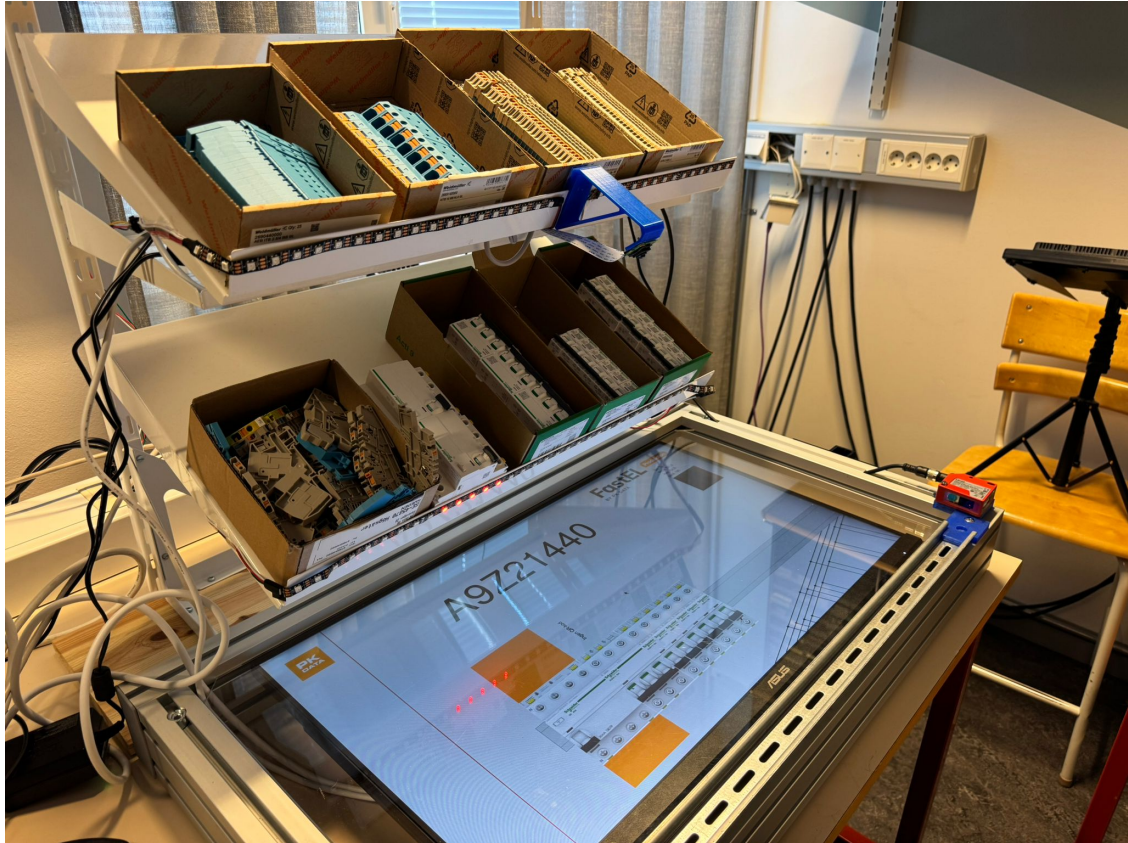




CHALMERS



Pick-to-light monteringsstation

Vidareutveckling av monteringsstation för elskåp

Examensarbete inom högskoleprogrammet Mekatronik

ALI REZA GHORBANI
KEVIN MOLIN

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2026
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2026

Pick-to-light monteringsstation

Vidareutveckling av monteringsstation för elskåp

ALI REZA GHORBANI
KEVIN MOLIN



CHALMERS

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2026

Pick-to-light monteringsstation
Vidareutveckling av monteringsstation för elskåp
ALI REZA GHORBANI
KEVIN MOLIN

© ALI REZA GHORBANI, KEVIN MOLIN, 2026.

Handledare: Johan Karlsson, PK Data AB
Examinator: Martin Fabian, Institutionen för elektroteknik

Examensarbete 2026
Institutionen för elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Stationen före vidareutveckling.

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2026

Pick-to-light monteringsstation
Vidareutveckling av monteringsstation för elskåp
ALI REZA GHORBANI
KEVIN MOLIN
Institutionen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Abstract

Electrical cabinets are an important part of the infrastructure used to distribute and control electricity in society. The production of electrical cabinets still consists of many manual assembly operations. To improve and automate part of this process, PK Data has developed a pick-to-light assembly station that visually guides an operator when mounting electrical components onto a standardized rail known as a DIN-rail.

The aim of this project was to further develop the station towards a more production-ready solution. The development focused on improving the mechanical design and functionality of the station, as well as investigating possible methods using laser sensors and computer vision to verify the type and position of electrical components mounted along the DIN-rail. This was achieved by designing and 3D-printing a mounting mechanism for DIN-rails and enclosures for the station's peripheral devices. Different laser sensor technologies, camera solutions and camera placements were evaluated for component verification. The vision-based verification was primarily investigated by training a YOLO (You Only Look Once) object detection model from Ultralytics.

The result was a compact and modular assembly station with integrated peripheral devices that allows the DIN-rails to be mounted and replaced efficiently during the assembly process. The overall design provided good conditions for handling the assembly process given a functioning verification workflow. However, within the timeframe of the project, the verification method was not developed enough to reliably identify components mounted on the DIN-rail. The investigation of object detection as a verification method did however provide a good foundation for future development in this area.

Overall, the project shows that a pick-to-light assembly station for electrical cabinet assembly has significant potential to create a more efficient and automated assembly process. Further work is required to ensure a reliable verification process.

Sammanfattning

Elskåp är en central del av infrastrukturen för att distribuera och styra elektricitet i samhället. Produktionen av elskåp består idag av mestadels manuella moment, därför har PK Data utvecklat en *pick-to-light* baserad monteringsstation som guidar montören visuellt för att effektivisera och automatisera ett särskilt moment av dessa där elkomponenter monteras på en standardiserad skena som kallas DIN-skena.

Detta arbete syftar till att vidareutveckla stationen till en så nära produktionsfärdig lösning som möjligt. Utvecklingen fokuserade på att förbättra den mekaniska konstruktionen och dess funktion, samt utforska möjliga metoder för att med laser och kameravision säkerställa elkomponenternas typ och position längs DIN-skenan. Detta skedde genom design och 3D-printing av en infästningsmekanism för DIN-skenor och inkapslingar för stationens olika perifera enheter. För komponentverifiering undersöktes olika sensortekniker för laser, samt kameror och kamerapositioner för den visionsbaserade verifieringen. Visionsverifieringen undersöktes primärt genom att träna en visionsmodell med YOLO (You Only Look Once), en objektdektionsmodell från Ultralytics.

Resultatet för helhetskonstruktionen blev en kompakt och modulär monteringsstation med integrerade perifera enheter och smidig infästning och byte av DIN-skenor. Helhetskonstruktionen gav bra förutsättningar för att hantera monteringsprocessen givet ett fungerande verifikationsflöde, dock blev verifikationsmetoden under projektets tidsram inte tillräckligt utarbetad för att tillförlitligt kunna identifiera komponenter på en DIN-skena. Undersökningen av objektdektion som verifikationsmetod gav däremot en bra grund för potentiella riktningar för fortsatt utveckling inom området.

Projektet som helhet visar på att en *pick-to-light* monteringsstation för elskåp har stor potential för en mer effektiv och automatiserad monteringsprocess, men vidare arbete krävs för att säkerställa verifieringsprocessen.

Nyckelord: pick-to-light, visionssystem, komponentidentifiering, Raspberry Pi, DIN-skena, prototyputveckling, 3D-printing.

Förord

Detta examensarbetet utfördes som ett sista moment inom högskoleingenjörsprogrammet mekatronik, vid Chalmers Tekniska högskola och omfattar 15 högskolepoäng. Detta utfördes i samarbete med PK Data AB under våren 2026.

Vi vill först tacka PK Data för att vi fick vara med och utveckla deras prototyp och följa med ut på besök till deras kunder i produktion, vilket var väldigt lärorikt. Peter Olssen, VD på PK Data AB, gav oss inspiration till många olika ideér under projektets gång med hans starka entreprenörsanda.

Vi vill också varmt tacka vår handledare på PK Data, Johan Karlsson, för vägledning genom projektet och alla trevliga fredagsmöten.

Ett stort tack till vår Examinator Martin Fabian, Professor på Chalmers för att han gett oss handledning och tog emot oss i vårt sökande av en examinator för detta examensarbete.

Vi vill också passa på att tacka Sakib Sistek, Forskningsingenjör, som stötte på oss i korridoren på Chalmers och pratade med oss i arbetsrummet, som gav oss många roliga historier och tips för ett livslångt lärande.

Göteborg, Juni 2026

Ali Reza Ghorbani
Kevin Molin

Förkortningar

Nedan presenteras relevanta förkortningar som används i rapporten i bokstavsordning:

CAD	Computer-Aided Design
CSI	Camera Serial Interface
DIN	Deutsches Institut für Normung
EOL	End-of-Line
ERP	Enterprise Resource Planning
FDM	Fused Deposition Modeling
FOV	Field of View
GUI	Graphical User Interface
LED	Light Emitting Diode
OCR	Optical Character Recognition
OpenCV	Open Source Computer Vision Library
OTG	On-The-Go
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol
PLA	Polylactic Acid
QR	Quick Response
ROI	Region of Interest
ToF	Time of Flight
USB	Universal Serial Bus
YOLO	You Only Look Once

Innehåll

Akronymer	x
Nomenklatur	xiii
Figurer	xvii
Tabeller	xix
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställning	2
2 Teknisk bakgrund	3
2.1 Pick-to-light	3
2.2 Elskåp och elkomponenter	3
2.3 DIN-skena	3
2.4 Raspberry Pi serie	3
2.5 USB-OTG och USB Gadget	4
3 Metod	5
3.1 Förstudie av befintlig prototyp	5
3.2 Teknisk litteraturstudie	5
3.3 Kundanalys	5
3.4 CAD och 3D-printing	6
3.5 Dokumentering	6
4 Föranalys	7
4.1 Förstudie av befintlig prototyp	7
4.1.1 Översikt av monteringsstationen	7
4.1.2 Systemarkitektur	8
4.1.3 Monteringsflöde	9
4.1.4 Identifierade begränsningar	10
4.1.5 Kameraplacering	10
4.1.6 Infästing för DIN-skena	10
4.1.7 Verifiering av artikel och position	11
4.1.8 Integration av perifera enheter	11
4.2 Kundbesök	11

4.2.1	Produktionsflöde och monteringsföresättningar	11
4.3	Systemkrav	12
4.4	Teknisk litteraturstudie	13
5	Systemdesign	15
5.1	Infästning för DIN-skena	15
5.1.1	Höger infästning	16
5.1.2	Vänster infästning	18
5.2	Sänkning av skärm	20
5.3	Verifiering	20
5.3.1	Laserbaserad avståndssensor	20
5.3.2	Handhållen scanner	21
5.3.3	Kamerasystem	21
5.3.3.1	Kameraposition	21
5.3.4	Visionsmodell	25
5.3.4.1	Dataset och annotering	25
5.3.4.2	Initial modell - 3 komponenter	26
5.3.4.3	Utökad modell - 8 komponenter	27
5.4	Mekanisk konstruktion och systemintegration	30
5.4.1	Fästen mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofiler	30
5.4.2	Justerbar kameramontering och vinkeltestning	30
5.4.3	Konstruktion av kapsling för Raspberry Pi AI-kameror	31
5.4.4	Konstruktion av kapsling för HQ-kamera	32
5.4.5	Kommunikationslösning mellan Raspberry Pi-enheter	32
5.4.6	Utveckling av elektronik och kabelhantering	33
6	Resultat	35
6.1	Mekanisk konstruktion och systemintegration	35
6.2	Kamerasystem och verifiering	35
6.3	Uppfyllnad av systemkrav	36
7	Slutsats och diskussion	37
7.1	Diskussion av resultat	37
7.2	Begränsingar	37
7.3	Framtida arbete	38
7.4	Slutsats	38
	Bibliography	39
A	Appendix A – CAD-modeller och konstruktionsdesign	I
A.1	Översiktsbild av stationen	I
A.2	Infästningar och mekaniska konstruktioner	II
A.2.1	Infästning mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofil	II
A.2.2	Höger infästning för aluminiumprofil	III
A.2.3	Vänster infästning med låsmekanism	III
A.3	Kamerakapslingar och kameramonteringar	IV
A.3.1	Kamerainfästning för aluminiumprofil	IV
A.3.2	HQ-kamera kapsling	IV
A.4	Elektronikbox	V

A.4.1 CAD-modell av elektronikbox	V
---	---

Figurer

4.1	Översikt av monteringsstation. 1) LED-indikering, 2) Kamera, 3) Lasersensor, 4) DIN-skena.	7
4.2	Monteringsflöde för pick-to-light-stationen.	9
4.3	Återkoppling i verifieringsprocessen genom GUI:t. 1) QR-verifikation godkänd (grönt), 2) Positioneringslinje via laser.	10
5.1	Schneider Minibrytare. Tagen från Schneider Electric [1]. (Snäppfästen kan ses i röda cirklar).	15
5.2	Krafter som kan uppstå vid montering av komponenter på DIN-skena. . . .	16
5.3	Profil av DIN-skena. Standardbredd A är 35 mm, och standardhöjden B är 7,5 mm/15 mm. Innermått C kan variera.	16
5.4	Höger infästning för DIN-skena.	17
5.5	Prototypens ursprungliga infästning på vänster sida.	18
5.6	Infästning vänster sida. Fjädermekanism för öppet och stängt läge.	19
5.7	Plastskivans höjd efter sänkning. Det röda strecket visar höjd innan sänkning. .	20
5.8	Två kameror med sidoplacering.	21
5.9	Kamera med sidovy.	22
5.10	Kamerafixtur i svarta aluminiumprofiler. Positioneringen av kameran ger en top-down vy av DIN-skenan	23
5.11	Vy för HQ-kameran över DIN-skena.	24
5.12	Illustration av FOV formeln för kameraoptik [2].	25
5.13	Annotering av komponenter i Label Studio.	26
5.14	Initial modell för objektdekttering av tre olika klasser. Siffrorna visar modellens konfidensvärde. Stillbild från video.	27
5.15	Objektdektion för 8 olika komponententklasser. Stillbild från videoström. .	28
5.16	Annotering av komponenter i Label Studio.	29
5.17	20×20-aluminiumprofil (1), 40×80-aluminiumprofil (2), design 1 (4), design 2 (5), samt slutligdesign (6).	30
5.18	Justerbart kamerafäste med rotations- och vinkeljustering.	31
5.19	Utveckling av kapsling för Raspberry Pi AI-kameran.	31
5.20	Kapsling för Raspberry Pi HQ-kamera där (1) visar det integrerade vattenpasset.	32
5.21	Första prototyplösningen för elektronik och kabeldragning innan vidareutveckling av den slutliga konstruktionen.	33
5.22	Utveckling av anslutningslösning och kabelhantering för stationens elektronik. .	34

A.1	Översiktsbild av visionsystemets CAD-modell med markerade konstruktionsdelar: (1) infästning mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofil, (2) höger infästning för DIN-skena, (3) vänster infästning, (4) kamerakapsling, (5) kamerainfästning för aluminiumprofil samt (6) elektronikbox.	I
A.2	CAD-modell av specialdesignad infästning för montering mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofiler.	II
A.3	CAD-modell av höger infästning för montering mot aluminiumprofil i visionsystemet.	III
A.4	Vänster infästning med mekanisk lås- och justeringsfunktion för monteringsystemet.	III
A.5	CAD-modell av kamerainfästning för montering mot aluminiumprofil i visionsystemet.	IV
A.6	CAD-modell av kapsling för Raspberry Pi HQ-kamera.	IV
A.7	CAD-modell av specialdesignad elektronikbox för montering av elektronik och kommunikationskomponenter i visionsystemet.	V

Tabeller

4.1	Huvudsakliga systemkomponenter.	8
4.2	Systemkrav för pick-to-light-stationen	13
5.1	Beräkning av brännvidd för Raspberry Pi HQ kamera vid täckning av en 600 mm DIN-skena	25
5.2	Träningsparametrar för den initiala visionsmodellen.	26
6.1	Sammanfattning av verifierade systemfunktioner och observerade resultat. .	36

1

Inledning

1.1 Bakgrund

Elskåp är en vanligt förekommande del av infrastrukturen i fastigheter, industriella produktionsmiljöer och automations- och styrsystem. Elskåpet är en inkapsling som innehåller elkomponenter vars funktion är att distribuera och styra olika elektriska system.

Att bygga dessa elskåp innefattar ofta mycket manuella monteringsmoment, där komponenter monteras på DIN-skenor. Trots en hög teknisk mognad för marknaden av elkomponenter, sker stora delar av monteringsarbetet fortfarande manuellt, vilket gör processen beroende av operatörens erfarenhet och noggrannhet. Detta kan leda till variationer i kvalitet, risk för felmontage samt begränsad spårbarhet i monteringsprocessen.

PK Data AB har i sitt arbete med industriella IT- och automationslösningar inom elritningar identifierat att det finns en potentiellt underutnyttjad marknad för effektivisering och kvalitetssäkring inom elskåpsbyggnation. Ett exempel är monteringsmoment på DIN-skena där rätt komponent ska väljas och monteras i korrekt ordning och position.

PK Data har tagit fram en prototyp av en *pick-to-light*-baserad monteringsstation som kombinerar flera tekniker såsom LED-indikering, laserbaserad avstånds- och positionsmätning samt kamerabaserad bildanalys. Prototypens funktion är att visa vilken komponent som ska monteras, indikera korrekt position längs DIN-skenan samt verifiera att montaget har utförts korrekt. Genom att använda dessa stödjande system finns möjlighet att minska fel, öka effektiviteten och skapa mer standardiserade monteringsprocesser.

Prototypen demonstrerar konceptets potential men saknar i nuläget en fördjupad och systematisk teknisk utvärdering av sensortechniker, verifieringsmetoder och systemintegration.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att vidareutveckla och tekniskt utvärdera lösningar för en *pick-to-light*-baserad monteringsstation, med fokus på att fördjupa och stärka den befintliga prototypens funktionalitet. Arbetet ska resultera i ett *proof-of-concept* som visar den tekniska genomförbarheten hos en standardiserad monteringsprocess i ett produktionsnära sammanhang för elskåpsbyggnation.

Arbetet syftar till att:

- Utvärdera och jämföra olika sensortekniker (laser, kamera) för montageverifiering
- Undersöka och utvärdera positionering av sensorer
- Utveckla algoritmer för tillförlitlig verifiering av korrekt montage av elkomponenter längs DIN-skena
- Skapa testprotokoll för att mäta prestandan av olika lösningar
- Utredning av scanner för QR och streckkod, utvärdera om handhållen sådan ska bytas till stationär.
- Skapa och utvärdera olika infästningar för DIN-skenan med hänsyn till positionering av sensorer
- Anpassning av mekaniska element i övrig konstruktion för optimering av vald teknik.

1.3 Avgränsningar

För att hålla examensarbetet genomförbart inom den givna tidsramen görs följande avgränsningar:

- Urvalet av tekniker begränsas till ett rimligt antal alternativ
- Ekonomisk analys av komponenter och material begränsas till översiktliga jämförelser mellan tekniska alternativ
- Säkerhetscertifiering och andra regulatoriska krav ingår ej
- Integration mot externa system ingår inte fullt ut

1.4 Preciserings av frågeställning

Examensarbetet ska besvara följande övergripande frågeställningar:

- Vilken sensorteknik lämpar sig bäst för verifiering av korrekt montage längs DIN-skena för en given kostnadsprofil?
- Hur kan laser- och kamerabaserade lösningar kombineras för att uppnå hög noggrannhet och tillförlitlighet?
- På vilka sätt kan användning av bildanalys med en eller två kameror förbättra identifiering och verifikation av olika typer av elkomponenter?
- Hur påverkas sensorernas noggrannhet och tillförlitlighet av placering och varierande ljusförhållanden?
- Kan den handhållna scannern för streckkod och QR bytas ut till en stationär?
- Hur bör den mekaniska konstruktionen utformas för att möjliggöra sensorernas utförande och placering?
- Vilken typ av modifiering av helhetskonstruktionen kan behövas för att optimera helhetslösningen av monteringsstationen?

2

Teknisk bakgrund

I detta kapitel beskrivs olika system och tekniker för att ge information och kontext i syfte att stärka läsarens förståelse för rapportens olika delar.

2.1 Pick-to-light

Pick-to-light är ett lagerplocksystem som visuellt guidar en operatör att plocka rätt artikelnummer från lagret. Detta sker genom att någon form av ljus, t.ex. en LED, lyser upp vid en hyllplats där operatören plockar artikeln och sedan konfirmerar att den har blivit plockad. Guidning sker från start till slut för hela plocklistan. Detta system används mycket i lagerhus och bidrar till mer effektiv och felsäker plockning [3].

2.2 Elskåp och elkomponenter

Ett elskåp är en inkapsling där det finns olika elektriska komponenter för att styra, skydda och distribuera elektrisk energi till fastigheter, fabriker och annan infrastruktur. Dessa kan bestå bland annat av säkringar (skyddar mot överström), plintar (kopplar ledningar) och reläer (styrning av kretsar). Dessa kan skilja i utförande. I denna rapport används samlingsbegreppet elkomponenter för dessa.

2.3 DIN-skena

En DIN-skena är en standardiserad skena [4] som i ett elskåp agerar som ett fäste för diverse elkomponenter. Den har en standardbredd på 35 mm och 7,5 mm alternativt 15 mm i höjd.

2.4 Raspberry Pi serie

Raspberry Pi [5, 6] är en enkortsdator som kombinerar processor, minne och in- och utgångar på ett kompakt kretskort. Den kan fungera som en traditionell dator med skärm och datormus, men kan också med perifera enheter fungera som en mikrokontroller i inbyggda system.

Till skillnad från traditionella mikrokontrollers så kör Raspberry Pi ett fullständigt operativsystem, vanligtvis Linux-baserade distributioner som Raspberry Pi OS. Detta möjliggör användning av avancerade programmeringspråk och verktyg, såsom Python och OpenCV och nätverkskommunikation.

2.5 USB-OTG och USB Gadget

USB-OTG (USB On-The-Go) [7] är en funktion baserad på USB-standarderna som gör det möjligt för en USB-port att fungera både som värd (host) och klient (device), beroende på hur funktionen används. Detta gör det möjligt för embedded-system att kommunicera direkt med andra enheter utan behov av en separat dator eller traditionell nätverkshårdvara. I Linux-baserade system används USB-OTG tillsammans med USB Gadget-drivrutiner för att skapa virtuella Ethernet-anslutningar över USB.

3

Metod

Projektet genomförs med följande metoder för att säkerställa en arbetsgång som hanterar de olika aspekter som krävs för att få prototypen så nära en produktionsfärdig lösning som möjligt.

3.1 Förstudie av befintlig prototyp

En förstudie genomförs för att få en grundläggande förståelse för den nuvarande prototypen. Detta innefattar en analys av stationens mekaniska konstruktion och dess integrerade olika delsystem för att få en förståelse över systemets funktion som helhet. Resultatet underlättar arbetets gång för att tidigt identifiera hur systemets begränsningar och uppbyggnad kan förbättras för att uppnå en så nära produktionsfärdig lösning som möjligt.

3.2 Teknisk litteraturstudie

I början av projektet genomförs en teknisk litteraturstudie som syftar till att ge ett tekniskt underlag för val av kamera och lasersensorer till prototypen. En blandning av källor från akademisk litteratur och *white papers* från industrin samlas in för att på ett pragmatiskt sätt kunna ge bra rekommendationer utifrån kundkrav.

3.3 Kundanalys

Tidigt i projektet görs ett kundbesök hos potentiella kunder för att samla in information om arbetsätt, vanliga problem vid montering och praktiska förutsättningar i produktionsmiljö. Detta görs för att ge underlag för avgränsningar, tekniska val och prioriteringar i projektet.

Följande frågeställningar användes som grund vid kundbesöket:

Produktionsflöde och monteringsförutsättningar

- Hur ser ett typiskt monteringsflöde ut?
- Vilka moment i monteringen upplevs som mest tidskrävande eller felkänsliga?
- Hur används ordersedlar och artikelnummer under montering?
- Hur varierar komponentplacering och DIN-skenor mellan projekt?
- Förekommer toleranser eller variationer i komponentpositionering?
- Hur genomförs verifiering och kvalitetskontroll?
- Hur lång upplärningstid krävs för nya operatörer?

- Vilka behov eller förbättringsmöjligheter identifierades i monteringsprocessen?

Intervjuerna kompletterades med egna observationer i produktionsmiljön.

3.4 CAD och 3D-printing

För mekaniska funktioner och konstruktioner används 3D-printing för att utveckla och testa olika lösningar för fästen, inkapslingar och integrering av olika moduler. Designerna skapas i CAD-programmet CATIA [8], som ger underlag för 3D-printing och skapandet av ritningsdokumentation

3.5 Dokumentering

Dokumentering av konstruktion och olika delsystem görs löpande för att säkerställa stationens funktionalitet och underhåll. Detta underlättar också överlämning av prototypen och ger en bra grund för fortsatt utveckling. Underlaget ger också material för konstruktion av ytterligare enheter.

4

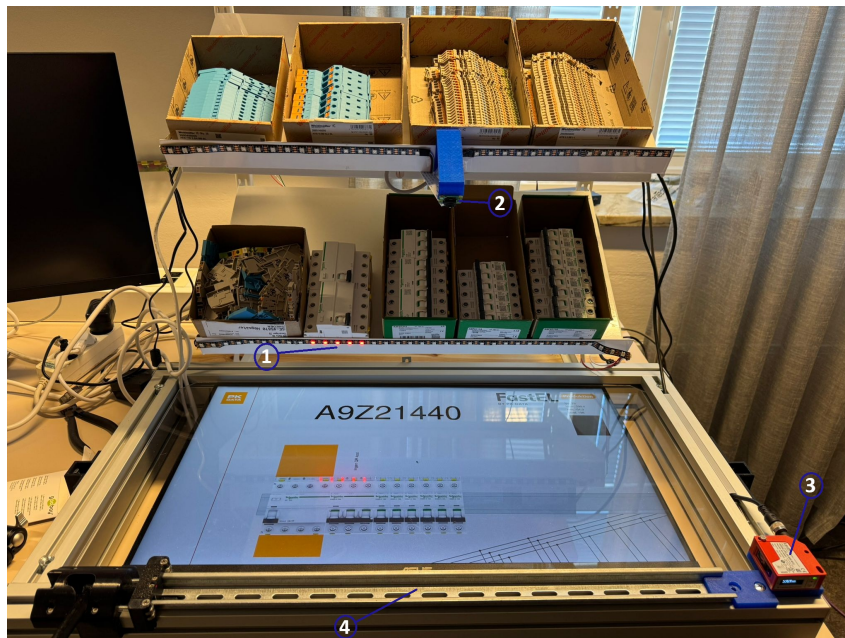
Föranalys

4.1 Förstudie av befintlig prototyp

En förstudie inleddes vid början av projektet för att bekanta sig med prototypens systemarkitektur och funktion. Där utfördes en analys av stationens system och arbetsflöde för att tidigt kunna identifiera tekniska begränsningar och potentiella förbättringsområden inför det fortsatta utvecklingsarbetet.

4.1.1 Översikt av monteringsstationen

Prototypen är en monteringsstation vars syfte är att effektivisera monteringsprocessen av elkomponenter på DIN-skenor. Med hjälp av ett *pick-to-light*-system guidar stationen montören visuellt steg för steg till rätt komponent i en sekventiell ordning för att monteras på DIN-skenan. Monteringsstationen är utrustad med skärm, LED-baserad pick-to-light indikering, optisk lasersensor samt kamera för verifiering av korrekt montage. En översiktlig bild av stationen visas i figur 4.1.



Figur 4.1: Översikt av monteringsstation. 1) LED-indikering, 2) Kamera, 3) Lasersensor, 4) DIN-skena.

Monteringsstationens ram är uppbyggd av aluminiumprofiler där skärmen är fastskruvad.

Ovanpå skärmen ligger också en transparent skiva för skydd. En handhållen skanner är även kopplad till stationen för konfiguration av plockhylla och kompletterande verifiering.

4.1.2 Systemarkitektur

Monteringsstationens systemarkitektur är uppdelad i ett antal olika integrerade delsystem som tillsammans möjliggör guidning, verifiering och interaktion under monteringsprocessen. Systemet styrs centralt av en Raspberry Pi 4 som kommunicerar med användargränssnitt, kamera, lasersensor, och LED-indikering. Tabell 4.1 visar stationens systemkomponenter och deras huvudsakliga funktioner.

Tabell 4.1: Huvudsakliga systemkomponenter.

Komponent	Typ	Funktion
Styrenhet	Raspberry Pi 4	Central styrning av stationen
Kamera	Raspberry Pi AI-kamera	Kamerabaserad verifiering
Lasersensor	Optisk avståndssensor	Positions-mätning längs DIN-skenan
LED-indikering	Adresserbar LED-list	Visuell pick-to-light-indikering
Scanner	Handhållen streckkodsläsare	Konfiguration av plockhylla
Skärm	27-tums display	Visning av monteringsprocess

4.1.3 Monteringsflöde

Monteringsflödet sker sekventiellt där montören guidas genom pick-to-light indikering tills alla komponenter har monterats på DIN-skenan, på ett vis som beskrivs i figur 4.2 nedan.



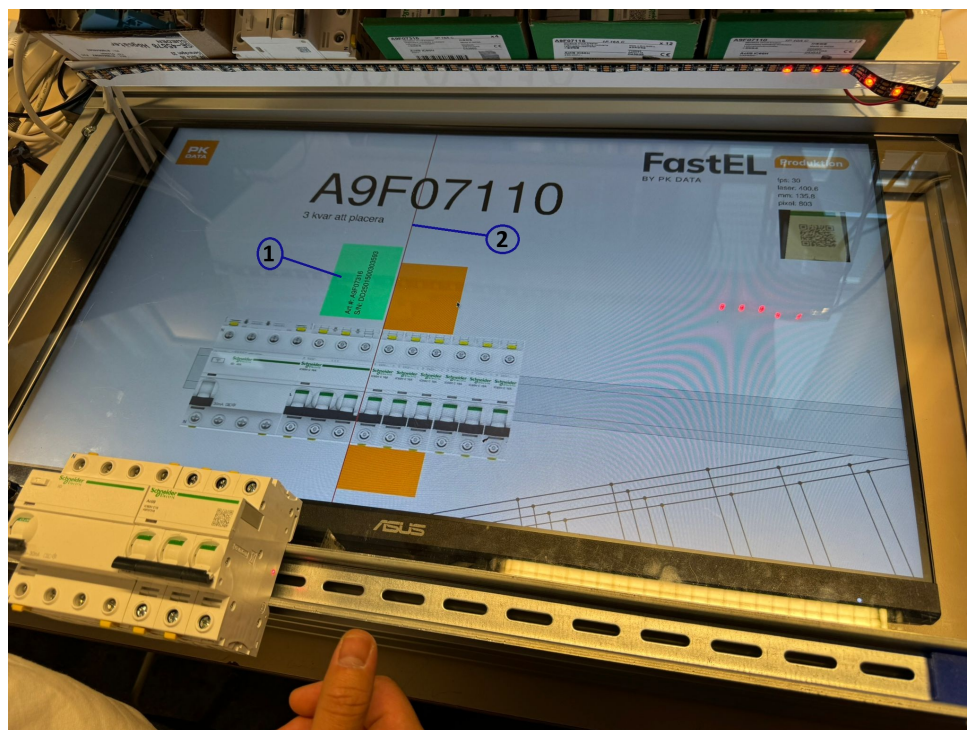
(a) Montör plockar vid låda med pick-to-light indikering



(b) Monterad komponent på DIN-skena. Nästkommande komponent indikeras genom pick-to-light.

Figur 4.2: Monteringsflöde för pick-to-light-stationen.

När komponenten sedan är monterad känner lasern av om den ligger på rätt position längs med DIN-skenan, samtidigt som kameran verifierar QR-koden på komponenten om det finns en sådan. Återkoppling på monteringsprocessen kan ses i realtid på displayen, som visas i figur 4.3.



Figur 4.3: Återkoppling i verifieringsprocessen genom GUI:t. 1) QR-verifikation godkänd (grönt), 2) Positioneringslinje via laser.

På displayen visas också en visuell ritning av alla komponenter som skall monteras på hela DIN-skenan i skala 1:1.

4.1.4 Identifierade begränsningar

Under förstudien identifierades områden med ett antal begränsningar som kom att bli vidare utvecklingsområden.

4.1.5 Kameraplacering

Placeringen för kameran i prototypen är fixerad i den mellersta plockhyllan med ett 3D-printat fäste. Då detta skulle kunna vara en bra placering för kameran då distansen till DIN-skenan blir kort, är det inte önskvärt då prototypen blir beroende av plockhyllans struktur och placering. Därför behövs en annan kameraposition för att prototypen lätt skall kunna installeras hos olika kunder oberoende av plockhyllans placering.

4.1.6 Infästing för DIN-skena

Infästningen för DIN-skenan består av en kil på högra sidan och en horisontell snabbspännare på vänster sida. Infästningen hade olika stabilitet för DIN-skenor från olika

leverantörer, och snabbspännaren hade inte den önskade repeterbara funktionen. Därför söktes en mer robust infästning.

4.1.7 Verifiering av artikel och position

Prototypen använder sig av kamera för QR-verifiering och en optisk lasersensor för positionering av komponent. Då QR-kod inte finns på alla typer av komponenter, samt att den fixerade kamerapositionen bara täcker ett begränsat område (Region of interest, ROI) med liten marginal, är detta inte en tillförlitlig lösning för den mängd variation som kan finnas i utförandet av komponenter.

Den optiska avståndssensorn läser i realtid objekt som är i dess linje, och på så sätt fås en position av komponenten längs med DIN-skenan. Sensorn fungerar bra för dess syfte, men kan få problem som fladder då montörens arm kan komma i vägen vid normal operation.

Systemets logik och programvara är också i stor utsträckning anpassad till den ursprungliga stationens layout och komponentplacering. En mer generell lösning för logiken behövs för att kunna på ett repeterbart sätt hantera variation i monteringsprocessen.

4.1.8 Integration av perifera enheter

Prototypens centrala styrenhet (Raspberry Pi 4) och dess perifera enheter är placerade bakom den mellersta plockhyllan. Då prototypen skall vara en modulär enhet som ska installeras hos kunder som kan ha olika hyllkonfigurationer behöver alla enheter på ett sömlöst vis integreras med prototypens konstruktion. Detta för att inte vara beroende av hyllkonfigurationen, samt att arbetsytan skall vara störningsfri för montören vid montering.

4.2 Kundbesök

Ett kundbesök genomfördes hos två olika kunder, benämnda Kund A och Kund B. Under en rundtur i produktion ställdes frågor till konstruktörer och produktionsledare, och de nedan presenterade insikterna baseras på en kombination av kundens svar samt egna observationer från kundbesöket.

4.2.1 Produktionsflöde och monteringsförutsättningar

Hos Kund A levereras materialet projektvis per elskåp, där individuella pallar innehåller allt material som montören plockar och bygger enligt specifikation på sin arbetsstation. DIN-skenan monteras i inkapslingen innan elkomponenterna fästes. Där fanns således inget eget lager. Kund B har ett eget lager med material. Där plockas artiklar enligt en plocklista från det egna lagret som sedan läggs i lådor för just en specifik order. Därefter tar en montör en låda och bygger enligt ordersedelns specifikation på sin arbetsstation.

Ordersedlar innehåller all information som behövs för att bygga ett elskåp. Där finns ritningar om hur de olika komponenterna skall monteras och deras artikelnummer, samt om hur kopplingar skall dras. Komponenter monteras ofta som moduler, där flera tätt placerade komponenter tillsammans utgör en funktionell enhet som skall fästas i en specifik

ordning. Mellanrum förekommer främst som en separation av dessa moduler. Den absoluta positioneringen av komponenter på DIN-skenan är då inte lika viktig som den relativa positioneringen. Det viktigaste är att varje individuell komponent sitter i rätt ordning efter varandra. Mindre förskjutningar, exempelvis 1-2 cm från dess ritning har mindre betydelse, så länge alla komponenter fysiskt får plats på skenans längd, med en marginal på 1 cm för skruvhål på vardera ände. Längd på DIN-skenor kunde även variera mellan olika skåp, oftast i ett spann på 250-600 mm.

Upplärningstiden för en montör uppskattades till ungefär sex månader, vilket indikerar att en stor vikt läggs på kvalitet och korrekt montering. Montören behöver kontinuerligt tolka ritningar samtidigt som rätt komponent identifieras och monteras längs DIN-skenan. Felmontering kan riskera tidskrävande felsökning och omarbete senare i produktionsflödet. Båda kunder använder sig även av en EOL (End of Line) kontroll, där elskåpen går igenom en slutlig kontroll innan leverans till kund. Vid EOL-kontrollen verifieras kopplingar genom elektriska tester och en visuell kontroll genomförs av kritiska elkomponenter. Montering sker i en industrimiljö med bra förhållanden, där produktionsytan har generellt god belysning, högt i tak med begränsade mängder damm och vibrationer.

Observationerna visar på att monteringsprocessen är en komplex procedur som ställer höga krav på montörens erfarenhet för att säkerställa bra kvalitet och korrekt montering. Här ses ett behov av en monteringsstation med montörstöd med verifiering för den stora variationen av komponenter, samtidigt som det kan vara en flexibel lösning vid personalbrist där inhyrd personal kan bli produktiva med en snabb inlärningsprocess. Behovet av monteringsstöd bedömdes också vara större hos kunder med eget lager där ett system för logistik redan existerar, då det annars blir en större merkostnad att hantera stationens logistik för plockhyllan.

Vid vidare diskussion med montörerna så önskas också att en monteringsstation skall vara ergonomisk, då arbete vid armbågshöjd med en relativ störningsfri arbetsyta är av stor vikt vid repetetivt arbete. Stationen bör också ge tydlig och direkt återkoppling utan att introducera onödiga steg, då stationens huvudsakliga syfte är att effektivisera monteringsprocessen.

4.3 Systemkrav

Inga formella hårda krav specificerades från kunderna. Istället gjordes en samlad bedömning baserad utifrån observationer och frågeställningar under kundbesöket samt dialog med handledare från PK Data för att framställa ett antal systemkrav som låg till grund för vidareutvecklingen av stationen.

Tabell 4.2: Systemkrav för pick-to-light-stationen

Kategori	Krav	Motivering
Funktion	Systemet ska kunna verifiera att rätt komponent har monterats	För att säkerställa kvalitet och öka spårbarheten.
Funktion	Systemet ska kunna guida montören till nästa komponent i monteringssekvensen.	Minskar risken för felmontering och ökar produktivitet.
Positionering	Systemet ska kunna kontrollera komponentens relativa position längs DIN-skenan.	Den relativa placeringen bedömdes viktigare än den absoluta positionen.
Positionering	Systemet ska kunna hantera mindre variationer i absolut placering, utan förhinder i monteringsflödet.	Mindre avvikelser ska inte påverka funktion, så länge komponenterna monteras i ordning
Komponent	Systemet ska kunna hantera olika komponentbredder och komponenttyper.	Produktion kan innehålla ett stort antal olika komponenter och variationer mellan elskåp
DIN-skena	Lösningen ska kunna hantera längder på 250-600 mm för DIN-skenor	Längd på DIN-skenor kan variera beroende på projekt och kundorder.
Ergonomi	Systemet ska inte begränsa montörens rörelsefrihet vid montering.	montören behöver kunna arbeta relativt fritt utan att stationen är i vägen.
Prestanda	Systemet ska ge snabb återkoppling efter utfört moment.	Ett för långsamt system försämrar arbetets effektivitet.
Integration	Systemet ska kunna integreras i det befintliga arbetsflödet.	Ordersedlar och annan relevant information skall integreras i stationens användargränssnitt.

4.4 Teknisk litteraturstudie

En teknisk litteraturstudie genomfördes för att undersöka möjliga verifieringsmetoder för position och komponenttyp. Bland dessa undersöktes kamerabaserad objekt-detektering och laserbaserade avståndssensor med olika optiska tekniker.

Under projektets gång blev dock användningen av studien begränsad, då en prioritering gjordes att fokusera främst på visionsbaserad verifikation. Det bedömdes vara mer centralt för arbetet då det ansågs ha potential att kunna hantera verifikation för både position och komponenttyp. Därför användes lasern främst som ett komplement för positionsverifiering och implementerades i en begränsad omfattning i den praktiska utvecklingen.

5

I detta kapitlet beskrivs processen för utveckling och design av olika lösningar för att förbättra stationens olika delsystem.

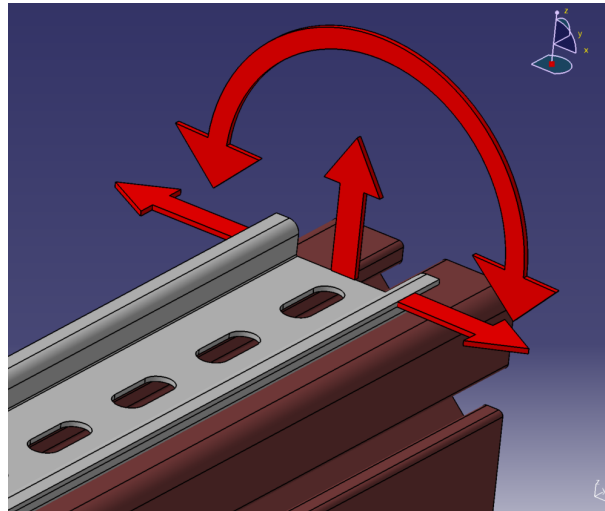
5.1 Infästning för DIN-skena

Vid montering av elkompnenter på DIN-skenan så behövs en tillförlitlig infästning som kan hålla skenan stadigt på plats under de fysiska påfrestningar som sker under montering. Elkompnenterna fästes på skenan med hjälp av snäppfästen som kan ses i figur 5.1 nedan.



Figur 5.1: Schneider Minibrytare. Tagen från Schneider Electric [1]. (Snäppfästen kan ses i röda cirkclar).

Om då skenan inte kan motstå det tryck som krävs för att snäppfästerna skall låsas korrekt, så kan skenan glida runt eller rotera i de led som visas i figur 5.2 nedan.

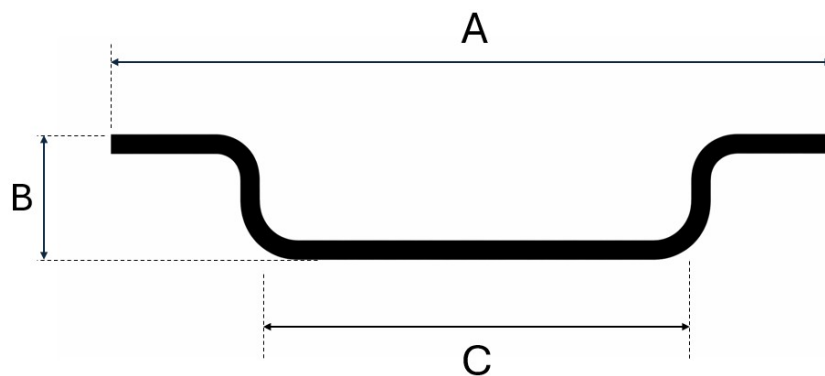


Figur 5.2: Krafter som kan uppstå vid montering av komponenter på DIN-skena.

Då detta medför ett väldigt stort störningsmoment för montören, måste infästningen vara stabil mot dessa krafter under montering. Infästningen är uppdelad i höger och vänster sida, och skall också vara kompatibel med olika längder av DIN-skenor, som är i spannet 250-600 mm.

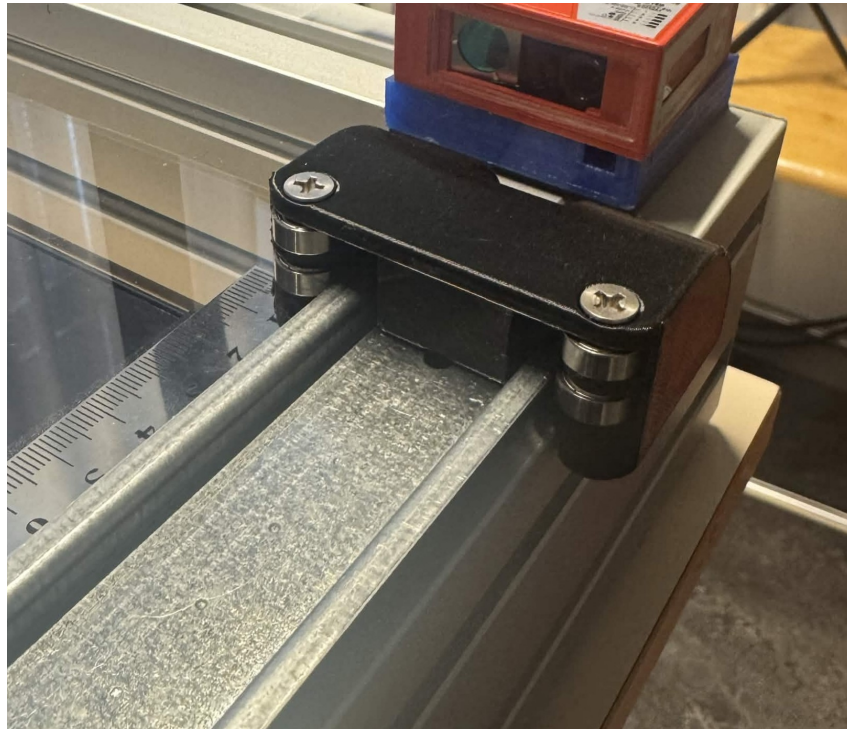
5.1.1 Höger infästning

För höger infästning hos prototypen användes en kil för att låsa DIN-skenan på plats. Efter test med DIN-skenor från olika leverantörer, märktes ett glapp hos en av DIN-skenorna. Detta glapp beror på att den ursprungliga kilens låsmekanism är beroende av DIN-skenans innermått av skåran, se figur 5.3.



Figur 5.3: Profil av DIN-skena. Standardbredd A är 35 mm, och standardhöjden B är 7,5 mm/15 mm. Innermått C kan variera.

Då standarden för DIN-skenor specificerar en bredd på 35 mm på dess yttermått, kan kilen inte säkerställa att den låser skenan tillräckligt bra för olika leverantörer, där innermåttet kan variera. Därför provades olika designer av en liknande kil som istället låser skenan på dess yttermått. Olika designer skapades och 3D-printades med hjälp av CAD och 3D-printern Bambu X. Efter många olika iterationer och tester togs en slutlig lösning fram som ses i figur 5.4.



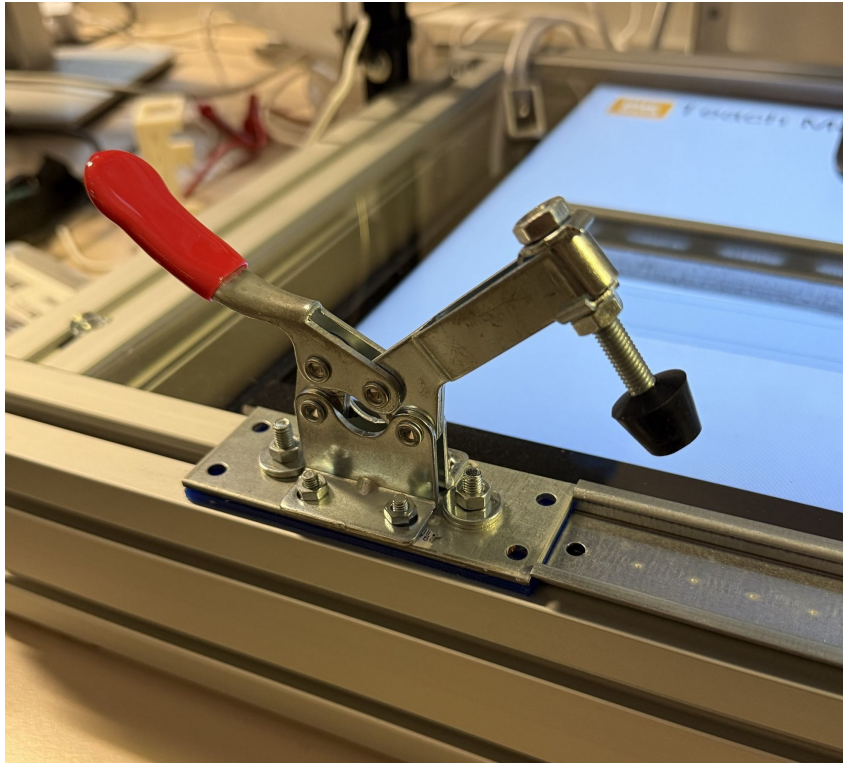
Figur 5.4: Höger infästning för DIN-skena.

Med denna infästning så är skenan låst med avseende på standardbredden hos DIN-skenor på 35 mm. Tillsammans med kilen i innermåttet och begränsingen i bredden så är skenan låst i både förflyttning i bredd samt rotation, vilket var krav för infästning.

En annan förbättring som gjordes var att kullager introducerades som kontaktyta för DIN-skenans flänsliknande kanter. Detta för att göra ansättning av DIN-skenan smidigare, då kullagrarna med en bra marginal guidar DIN-skenan till rätt position med så lite friktion som möjligt. Detta gjordes också med hänsyn till att förbättra hållbarheten, då det med ett 3D-printat material som PLA finns en risk att materialet snabbt slits ner av påfrestningar av DIN-skenans smala kanter.

5.1.2 Vänster infästning

För vänster infästning användes en vertikal snabbspännare för att trycka ner DIN-skenan mot aluminiumramen, och genom spänningstrycket hålla DIN-skenan på plats. Detta kan ses i figur 5.5 nedan.

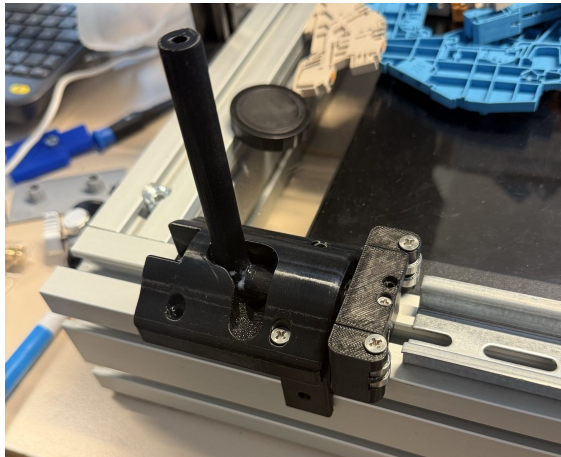


Figur 5.5: Prototypens ursprungliga infästning på vänster sida.

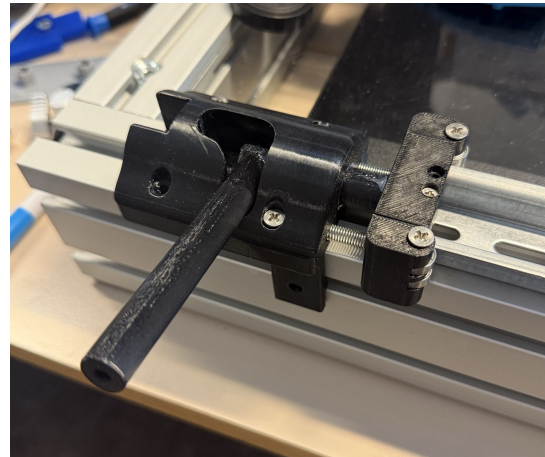
Efter undersökning och tester av dess utförande och prestanda så kunde flera bristfälligheter och förbättringar identifieras. Då huvudmekanismen för att hålla skenan på plats är baserat på trycket från spänningmekanismen och i sin tur friktionen mellan gummipluppen och DIN-skenan, introduceras en oförutsägbar variabel som kan sakna repeterbarhet vid byte av DIN-skenor över tid. Vid varje infästning så kan spännaren variera i tryck beroende på montör.

Vid montering av komponenter på DIN-skenan observerades också att vibrationer och ryckiga rörelser som kan uppstå vid normal manövrering av stationen kunde förflytta spännarens nollspänningspunkt, vilket ledde till att spännaren behövde omkalibreras efter ett visst antal spänningar. Trycket som krävs för att spänna DIN-skenan är också väldigt överdimensionerat för dess funktion. Kraften som krävs för att hålla skenan på plats är mångt mycket mer än om låsningen är baserad på geometri.

En infästning som är mer specifikt anpassad för ändamålet togs fram. Lösningen till höger infästning användes som utgångspunkt för designen till vänster infästning. Tillsammans med kil-lösningen från höger infästning, konstruerades en fjädermekanism med en hållhake för låsning och byte av DIN-skena, likt en skjutregel, som kan ses i figur 5.6 nedan.



(a) Öppet läge



(b) Stängt läge

Figur 5.6: Infästning vänster sida. Fjädermekanism för öppet och stängt läge.

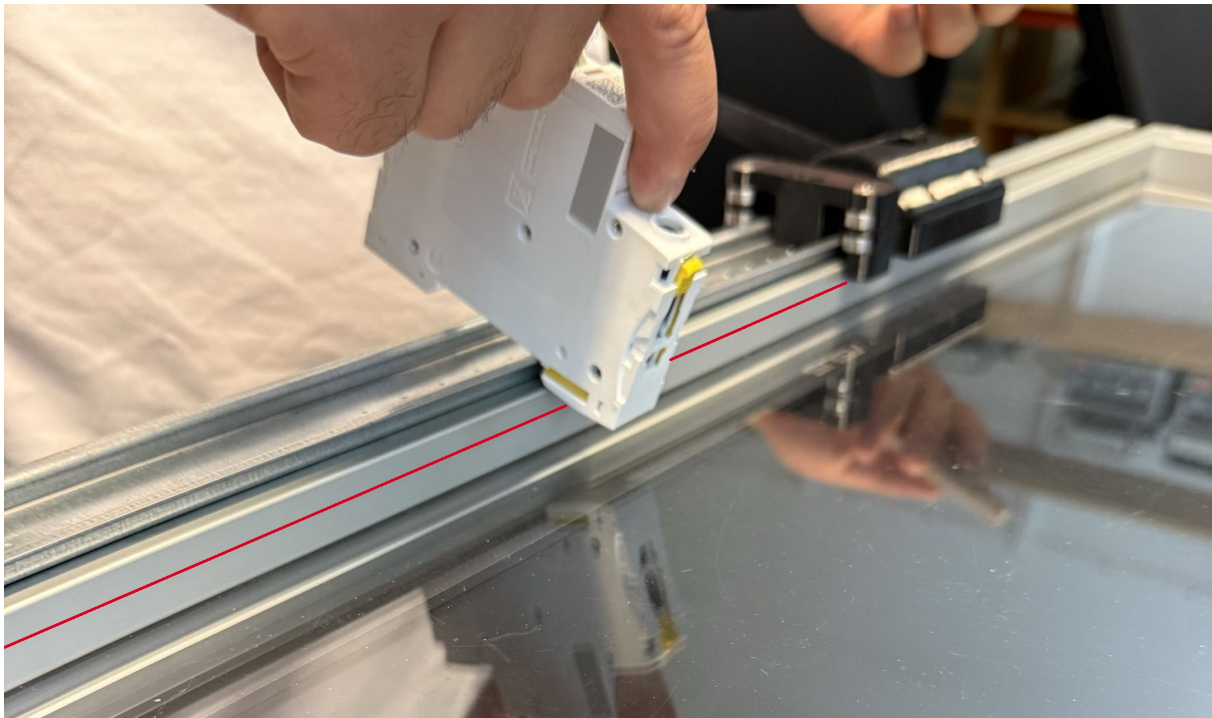
Hållhaken vid ett stängt läge låser kilen på plats och därmed DIN-skenans rörelse genom form Slutning på samma sätt som höger infästning. Den lätta fjädringen bidrar till ett smidigt byte av DIN-skena då mekanismens återfjädrande öppningsförlopp sker med ett lätt tryck uppåt på spaken, och stängs sedan med ett lätt tryck nedåt på spaken. Kroppen av infästningen har också en läpp som kramar om aluminiumramen för att överföra krafter från skenan till ramen för minskat slitage.

Vid en tidigare iteration av designen användes en starkare fjäder och med motsatt riktning. Efter testning så bedömdes denna fjäder vara alldeles för stark för ändamålet. Den kraft som krävdes blev förvärrad av en anatomiskt svag position för armen vid normal operation, samt antalet gånger en skena förväntas att bytas varje dag. Därför motiverades en lättare fjäder i syfte för ett smidigare öppningsförlopp, vilket låter den huvudsakliga låsningen ske genom geometrisk form Slutning med kilen.

5.2 Sänkning av skärm

Under testning av montering av komponenter på DIN-skenan uppstod ett störningsmoment på komponenter med en högre höjd. Vid montering så vinklas komponenten framåt lite för att lätt guida snäppfästets hålrum för att hitta DIN-skenans kant. Men för högre komponenter så ledde detta till att komponenternas toppkant slog i plastskivan, för att sedan glida på plastskivan tills komponenten var fäst.

För att motverka detta så sänktes prototypens display ungefär 1 cm genom att justera upphängningen som skärmen är fastkruvad på inuti alumuniumprofilramen. Resultatet kan ses i figur 5.7 nedan.



Figur 5.7: Plastskivans höjd efter sänkning. Det röda strecket visar höjd innan sänkning.

5.3 Verifiering

För verifiering av rätt komponent på DIN-skenan så används ett flertal system för att snabbt kunna ge feedback och bibehålla en effektiv monteringsprocess.

5.3.1 Laserbaserad avståndssensor

Olika tekniker för laserbaserade avståndssensorer undersöktes i den tekniska litteraturstudien, bland annat triangulering och ToF (Time of Flight). Den redan implementerade lasern i prototypen använder sig av triangulering, vilket ger bra precision vid avstånd upp till 1 meter, vilket bedömdes vara tillräckligt för behovet av kompletterande positionsverifiering. Vid utvärdering av alternativa lasersensorer bedömdes dessa inte ge en tillräckligt teknisk eller ekonomisk fördel efter jämförelser av olika sensorer och leverantörer.

Därför fortsatte arbetet med att använda den redan implementerade lasersensorn, med ett större fokus på kamerabaserad verifiering.

5.3.2 Handhållen scanner

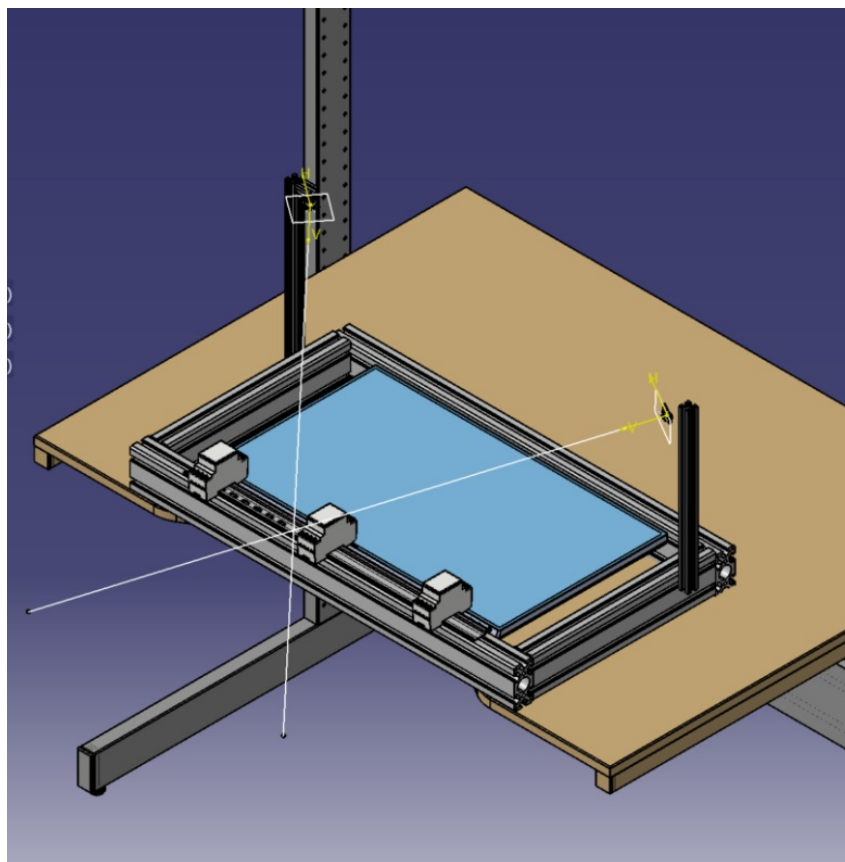
Den handhållna scannern utvärderades för möjligheten att fixera den stationärt. Då scannern erbjuder funktioner som bland annat konfiguration av plockhyllan, samt komplementär verifiering, bedömdes en handhållen scanner vara önskvärt för dessa funktioner samt möjligheten för utveckling av framtida systemfunktioner där scannern kan fylla ett flexibelt behov.

5.3.3 Kamerasystem

Syftet med kamera är att ha en så bra översikt av monteringsprocessen för att kunna styra systemets arbetsflöde.

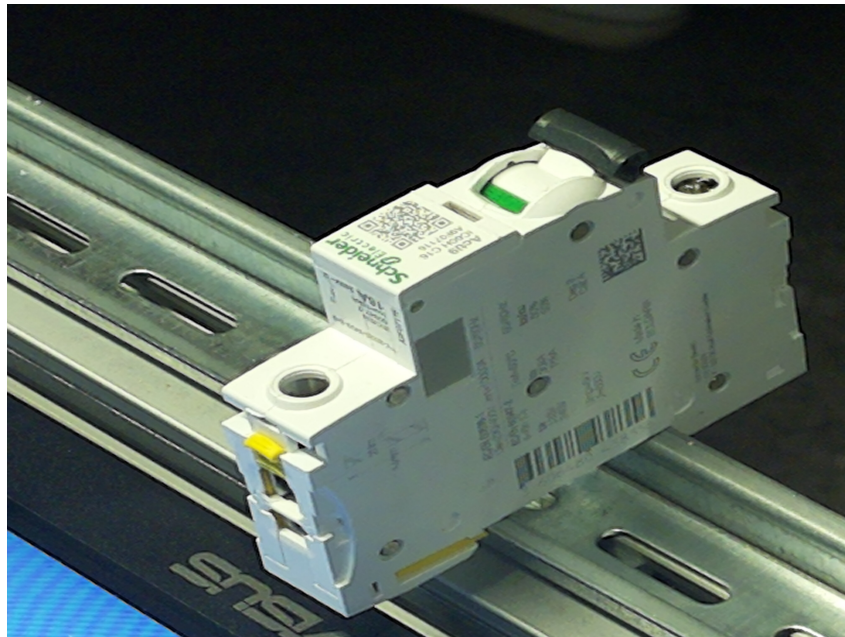
5.3.3.1 Kameraposition

Då den ursprungliga kamerapositionen var beroende av plockhyllans position, förankrades kamerapositionen med stationens aluminiumram som utgångspunkt. Därför konstruerades en kamerafixtur av aluminiumprofiler som fästes i prototypens ram. Tidigt i utvecklingsarbetet så testades en sidoplacering av två kameror på vardera sida, för att minska påverkan på montörens arbetsyta, se figur 5.8 nedan.



Figur 5.8: Två kameror med sidoplacering.

Efter kameratester med denna placering, identifierades det snabbt att kameravståndet var för långt för att tillförlitligt kunna urskilja text på komponenterna, se figur 5.9 nedan.

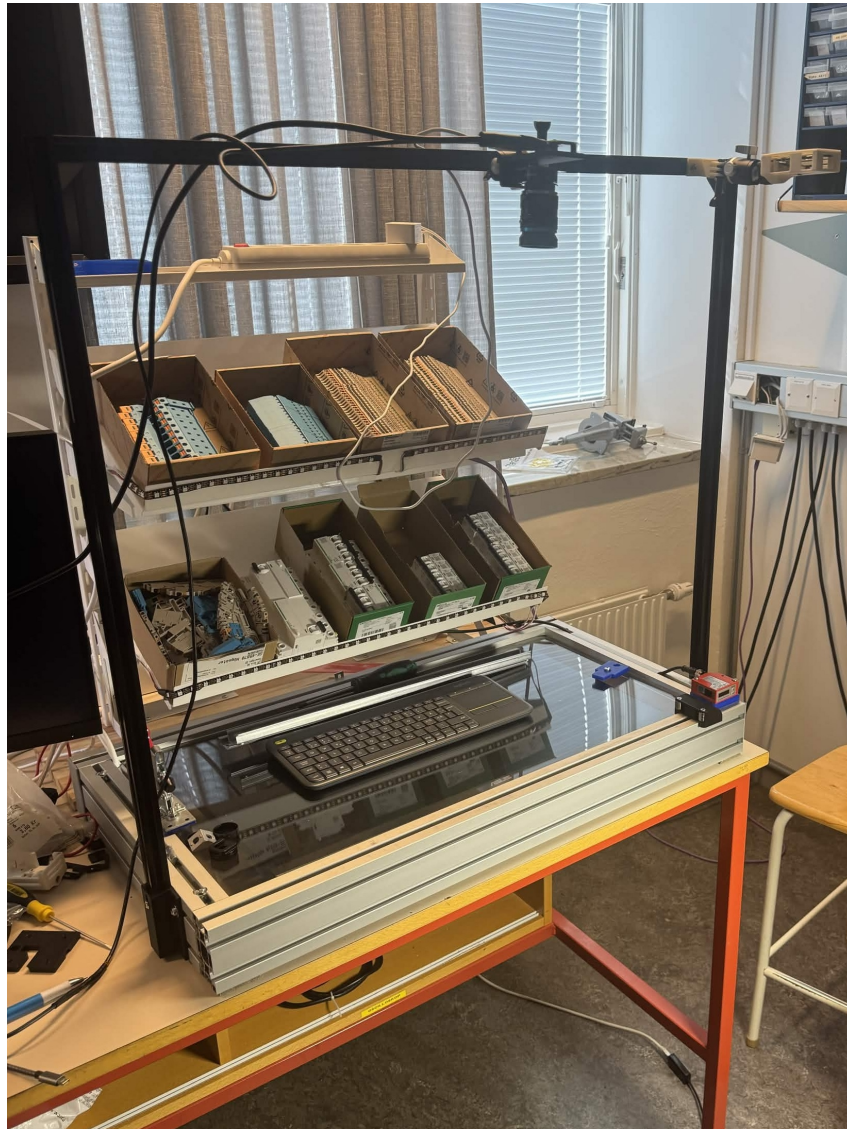


Figur 5.9: Kamera med sidovy.

Då detta är av stor vikt för verifiering av komponenter med liknande utförande, behövdes en annan uppställning för en tillräckligt bra bildkvalitet för verifikation. Det geometriska perspektivet inducerade också ett onödigt svårhanterat informationsflöde, då en mängd preprocessering krävdes för att rätta upp bilden med OpenCV [9].

Denna kameraposition testades också för att undersöka möjligheten av en stereokamera-konfiguration för att kunna hitta komponenternas position utan användning av lasersensorn. Detta kunde dock snabbt avverkas, då efter efterforskning fick vi insikten att en stereokamera-konfiguration är en onödigt komplex lösning, då komponenternas position är i grunden ett problem av en endimensionell karaktär. En 3D-rekonstruering av rummet blir då väldigt överdimensionerat för detta syfte. Istället valdes en lösning där kamerans synfält blir mappat till längden av DIN-skenan, och kan på så sätt få ut en position beroende på pixelposition av komponenter.

En annan lösning utvecklades, där kameran istället hänger snett ovanför montören, och får således en *top-down* vy av DIN-skenan, som kan ses i figur 5.10 nedan.



Figur 5.10: Kamerafixtur i svarta aluminiumprofiler. Positioneringen av kameran ger en top-down vy av DIN-skenan

Efter test med denna kamerapositionen, så blev det geometriska perspektivet nästintill identiskt med ritningarna som kan ses i användargränssnittet. Detta perspektiv var väldigt fördelaktigt, då ingen tung preprocessering med OpenCV krävdes.

Dock så var bildkvaliteten fortfarande inte tillräckligt bra för att kunna skilja på text, då avståndet till DIN-skenan fortfarande är för stort. För att korrigera detta inskaffades en bättre kamera (Raspberry Pi HQ-kamera) med ett tillhörande objektiv, för att få en bättre pixeldensitet och mer ljus i linsen, samt ett mer kontrollerbart manuellt fokus. Efter test med HQ-kameran på ett mindre och ett större avstånd, kunde en bra nog bildkvalitet konstateras på en högre höjd. Detta kan ses i figur 5.11 nedan,



(a) Höjd till DIN-skena ca 70 cm.



(b) Höjd till DIN-skena ca 140 cm.

Figur 5.11: Vy för HQ-kameran över DIN-skena.

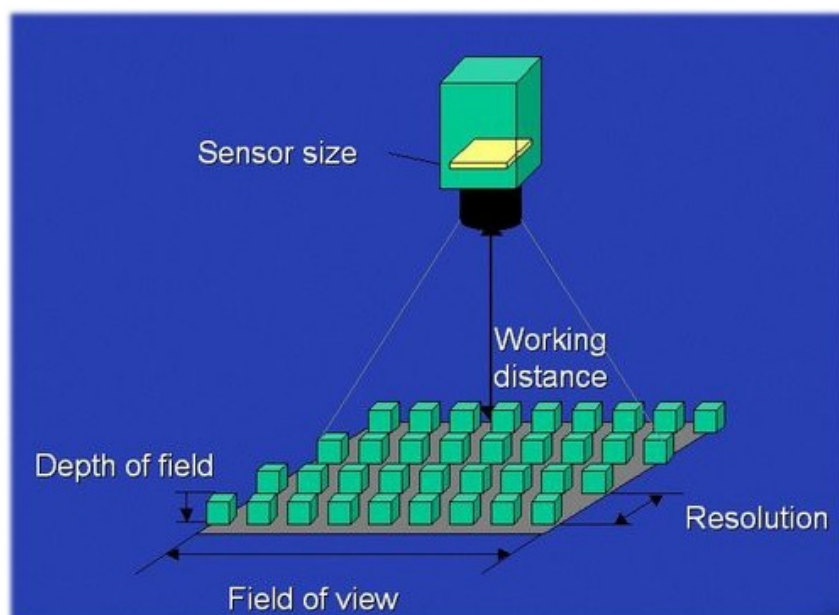
För kamerafixturen så behövs ett avstånd högt nog så att montörer av olika längd skall kunna arbeta utan risk för slag mot huvud. En totalhöjd av kameran på 2 m-2.2 m bedömdes som rimligt för att lämna tillräckligt fri höjd över arbetsområdet. Totalhöjden beräknas med en genomsnittlig höjd för arbetsbänkar på 90 cm [10], samt 10 cm för ramen, och slutligen avståndet från DIN-skenan till kameran.

För exakt dimensionering av kamerans synfält kan en FOV (Field of View) formel för kameraoptik användas [2],

$$FOV = \frac{S \cdot D}{f},$$

där FOV : synfält (längd av skenan) (5.1)
 S : sensorns storlek (mm)
 D : avstånd till objektet (kamerahöjd)
 f : brännvidd.

Då synfältet för kameran beror på kamerans sensorstorlek, höjd över objektet och linsens brännvidd, kan dessa parametrar justeras för att hela DIN-skenans längd skall täckas, på ett vis som illustreras i figur 5.12.



Figur 5.12: Illustration av FOV formeln för kameraoptik [2].

Då stationen skall kunna hantera DIN-skenor på en maxlängd av 600 mm så kan brännvidder beräknas för ett antal rekommenderade kamerahöjder för en Raspberry Pi HQ kamera med en horisontell sensorbredd på 6.29 mm [11], som visas i Tabell 5.1 nedan.

Tabell 5.1: Beräkning av brännvidd för Raspberry Pi HQ kamera vid täckning av en 600 mm DIN-skena

Totalhöjd H_{tot} [mm]	Kamerahöjd D [mm]	Synfält FOV [mm]	Beräknad brännvidd f [mm]
2000	1000	600	10.5
2100	1100	600	11.5
2200	1200	600	12.6

På grund av bristande utbud av objektiv och långa ledtider, togs ett beslut att fortsätta arbetet med visionsverifiering trots att nuvarande konfiguration inte täcker maxlängden för DIN-skenor. Istället prioriterades fortsatt arbete med visionsverifiering för kortare DIN-skenor för att säkerställa prototypens funktionalitet.

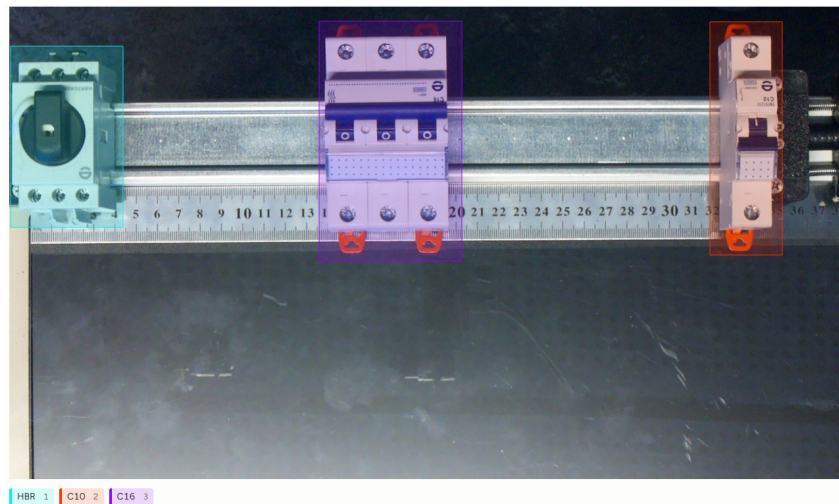
5.3.4 Visionsmodell

För att kunna verifiera olika komponenter på DIN-skenan undersöktes möjligheten att träna en visionsmodell för objekt-detektering. En open-source visionsmodell baserad på YOLO (You Only Look Once) från Ultralytics [12, 13] användes i detta syfte för dess enkla träningsprocess och goda realtidsdetektering.

5.3.4.1 Dataset och annotering

För att träna en modell för objekt-detektering samlades ett dataset bestående av bilder på olika komponenter. Bilderna annoterades inför träning med YOLO-modellen med hjälp av verktyget Label Studio [14], som är en open-source plattform för annotering av dataset

för visionsmodeller bland annat. Ett exempel på hur annotering sker i verktyget kan ses i figure 5.13 nedan.



Figur 5.13: Annotering av komponenter i Label Studio.

I verktyget ritas man upp färgschemalagda begränsningsrutor (*bounding boxes*) kring komponenterna för att definiera området för respektive objekts position i bilden till rätt tillhörande klass. Klasserna definierades utifrån typen av komponent/artikelnnummer, med unik färg för respektive klass. Efter annotering av alla bilder delades datasetet upp i tränings- och valideringsdata med en 70/30-fördelning.

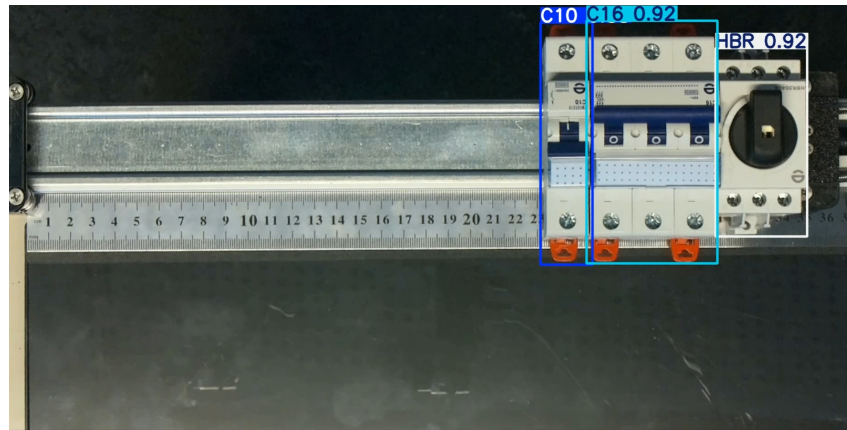
5.3.4.2 Initial modell - 3 komponenter

En initial modell tränades först på ett mindre dataset med tre visuellt distinkta komponenter. Syftet med denna modell var att verifiera funktionen av träningsprocessen och den grundläggande objekt-detektering vid inferens. Modellen tränades med den nyaste versionen YOLOv26 med standardinställningar där inget annat anges. De träningsparametrar som användes visas i Tabell 5.2, vilka även användes för alla efterföljande modeller.

Tabell 5.2: Träningsparametrar för den initiala visionsmodellen.

Parameter	Värde
Modell	YOLOv26m
Epochs	100
Bildstorlek	640 × 640
Batch size	8
Train/validation split	70/30

Modellen kördes därefter på en videoström för att utvärdera objekt-detekteringen i realtid. Resultatet från objekt-detektering med den initiala modellen med 3 komponentklasser kan ses nedan i figur 5.14.

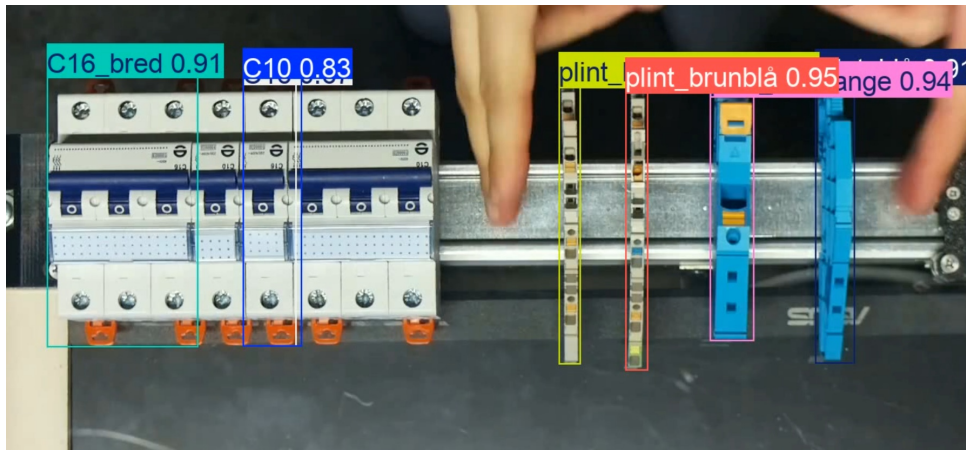


Figur 5.14: Initial modell för objekt-detektering av tre olika klasser. Siffrorna visar modellens konfidensvärde. Stillbild från video.

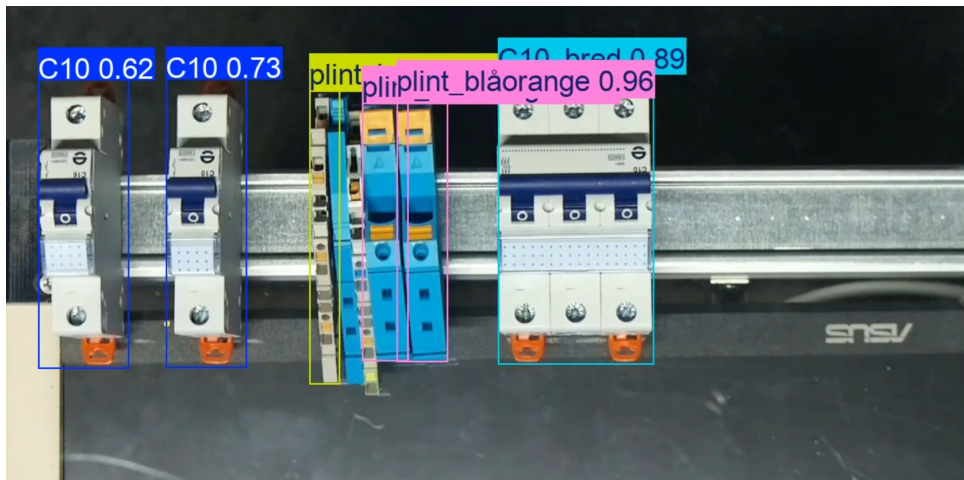
Modellen uppvisar bra detektionsförmåga vid aktiv montering och förflyttning av objekt med täta begränsningsrutor runt komponenternas kanter, som kan ses med färgade etiketter för respektive klass. Den kan också urskilja komponenter när dom är tätt sammansatta, vilket är det mest förekommande scenariot vid montering. Modellen ger ett högt konfidensvärde runt 90 % vilket indikerar stabil detektion. Detta resultat var enligt förväntningar, då de tre komponenterna har ett distinkt utseende relativt varandra och är således enkla att urskilja för modellen trots ett mindre dataset.

5.3.4.3 Utökad modell - 8 komponenter

Då monteringsstationen skall kunna verifiera komponenterna i plockhyllan så tränades en utökad modell med åtta olika komponentklasser som representerar de åtta olika artiklar som finns i nuvarande plockhylla. Här användes ett större dataset, där vissa komponenter var lika i geometri och färg och endast kunde särskiljas genom textmärkning. Här annoterades komponenterna med en blandning av separation och tät placering. Resultatet av inferens av modellen på en videostream kan ses nedan i figur 5.15.



(a) Objektdetektion med varierande mellanrum mellan komponenter.



(b) Objektdetektion med falsk positiv detektion av komponentklass C10 (blå).

Figur 5.15: Objektdetektion för 8 olika komponententklasser. Stillbild från videoström.

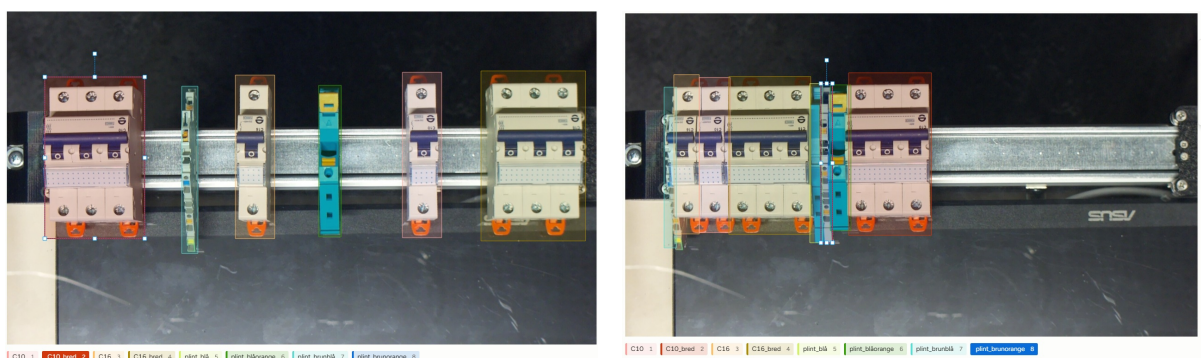
Modellen presterar bra på de tunna plintarna med mellanrum, figur 5.15a. Detta är förväntat då det inte finns andra komponenter tätt inpå som skymmer. Däremot, som syns i båda figurerna, missar modellen att detektera komponenter som sitter tätt ihop med andra komponenter, samtidigt som den också klassificerar en komponenttyp till två olika klasser. I figur 5.15b ser vi också att komponentklassen C10 får en falsk positiv detektion med lågt confidence-värde, samtidigt som de tätt sammanpressade plintarna leder till att modellen missar 2 komponenter.

För komponenter där endast textmärkning skiljer, visade modellen svårigheter för att detektera rätt komponent. Under en testsession kunde den ibland identifiera dessa komponenter korrekt, och detta skedde oftast när komponenterna fördes in i bild en åt gången. Men så fort båda komponenterna var i bild sjönk konfidensvärdet på dessa drastiskt, samt att det kunde oscillera kraftigt. Detta sker troligen på grund av hur modellen främst baserar klassificeringen på visuella egenskaper och geometri, där små textskillnader mellan komponenter blir begränsade av bildens upplösning.

Då komponenter var satt tätt ihop så missar också modellen att identifiera komponenter helt och hållet. Denna trend var återkommande vid olika placeringar på DIN-skenan, men

visade sig vara mer påtaglig i ytterkanterna. Detta sker troligen på grund av kamerans vinkel relativt komponenten, vilket skapade större perspektivfel längre från bildens centrum. Då annotering av datasetet endast kan göras med fyrkantiga bounding boxes, kan inte komponenterna annoteras tillräckligt tätt kring deras konturer utan att samtidigt inkludera närliggande komponenter eller bakgrund på grund av perspektivfel, ett fenomen som kallas *feature-bleeding*.

En annan metod för annotering undersöktes, där komponenterna enbart annoterades individuellt separerade för att se hur mycket feature-bleeding försämrar modellens slutliga resultat. Skillnaden för annoteringsmetoden illustreras i figur 5.16 nedan.



(a) Separering av komponenter. Här sker ingen feature-bleeding.

(b) Tätt placerade komponenter. Annoteringen inducerar feature-bleeding då begränsningsrutorna överlappar.

Figur 5.16: Annotering av komponenter i Label Studio.

Annoteringsmetoden med enbart separerade komponenter visade ett bättre resultat vid ytterligare inferens, dock var det en marginell förbättring. Det indikerar ändå att ett dataset fritt från feature-bleeding har viss betydelse för hur väl den tränade modellen presterar i korrekt identifiering. Detta sker troligtvis på grund av att modellen lättare kan identifiera komponentens konturer även om den inte kan se alla detaljer på komponenten som fanns vid annotering.

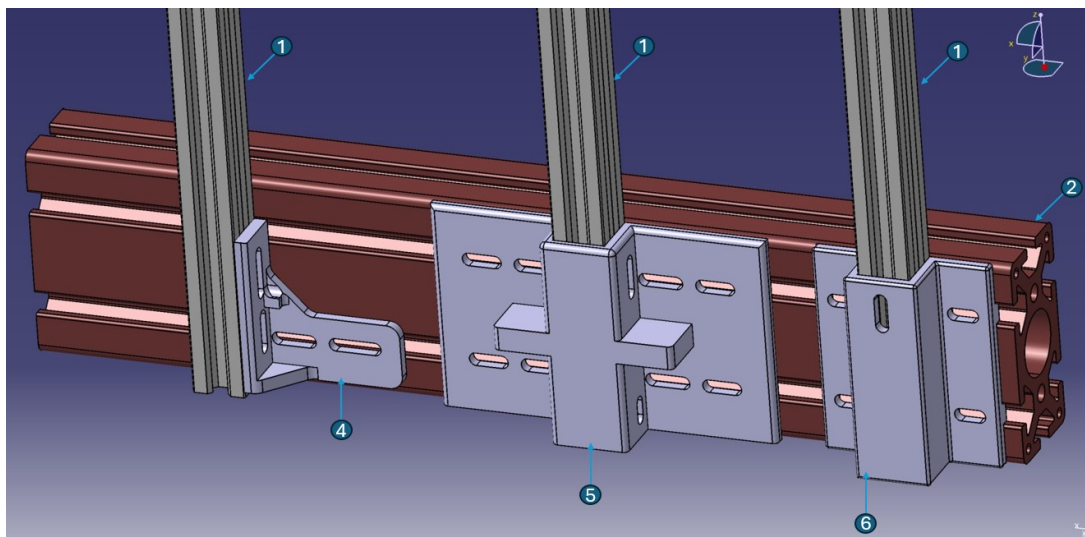
Oavsett annoteringsmetoder indikerar resultatet att begränsningar i hur datasetet måste annoteras för en objekt-detektionsmodell skapar bristfällig träningsdata för tätt placerade komponenter. Detta gör att modellen får svårare att särskilja komponenter vid varierande perspektiv. Modellen verkar heller inte vara optimerad för att kunna särskilja textmärkningar vid begränsad pixeldensitet.

Segmenteringsbaserade modeller som annoteras med maskor som kan hantera perspektivfel samt integrering av en OCR-baserad metod hade därför varit relevant för ett fortsatt arbete. På grund av projektets tidsram hann vidareutveckling av lösningar för verifieringens begränsningar inte genomföras fullt ut, men möjliga förslag på inriktningar rekommenderas i diskussionskapitlet.

5.4 Mekanisk konstruktion och systemintegration

5.4.1 Fästen mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofiler

För att möjliggöra montering mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofiler utvecklades specialanpassade monteringsfästen i CAD. Kommersiella lösningar som uppfyllde projektets krav kunde inte identifieras, vilket ledde till att egna fästen konstruerades och tillverkades genom 3D-printing. Figur 5.17 visar de tre slutliga designkoncepten som utvecklades under projektets gång.



Figur 5.17: 20×20-aluminiumprofil (1), 40×80-aluminiumprofil (2), design 1 (4), design 2 (5), samt slutligdesign (6).

Den första designen (figur 5.17 (4)) visade sig inte vara tillräckligt stabil för den avsedda belastningen. Konstruktionen vidareutvecklades därför till en andra design (figur 5.17 (5)) med förbättrad stabilitet. Denna lösning använde dock mer material än nödvändigt samt fler skruvförband, vilket försvårade monteringen av 20×20-aluminiumprofilen.

Den slutliga designen (figur 5.17 (6)) optimerades med fokus på stabilitet, enkel montering och reducerad materialåtgång. Konstruktionen gav tillräcklig mekanisk hållfasthet samtidigt som antalet monteringskomponenter minskades.

5.4.2 Justerbar kameramontering och vinkeltestning

Eftersom den optimala kameravinkeln inte var känd i början av projektet utvecklades en tillfällig lösning för flexibel kameramontering. Ett justerbart kullsfäste användes för att möjliggöra rotation och vinkeljustering av kameran under testfasen. Kullsfästet möjliggjorde rotation i intervallet 0° till 360° samt vinkeljustering mellan 45° och 90°, vilket gjorde det möjligt att testa olika kamerapositioner och vinklar. Figur 5.18 visar det justerbara kullsfästet som användes under projektets utvecklingsfas.

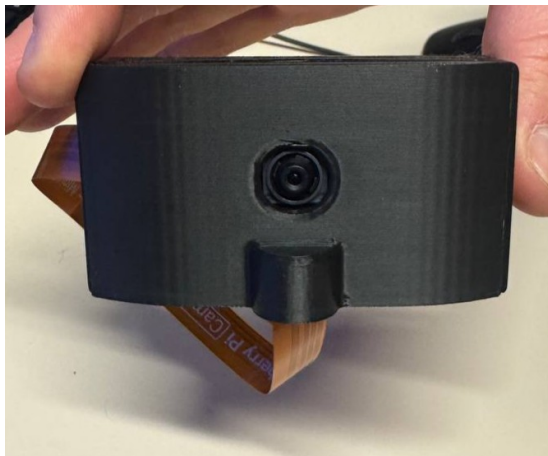


Figur 5.18: Justerbart kamerafäste med rotations- och vinkeljustering.

5.4.3 Konstruktion av kapsling för Raspberry Pi AI-kameror

För att kunna använda kamerorna på stationens sidor krävdes en kapsling som kunde hålla både kameran och Raspberry Pi Zero på plats. Eftersom det inte hittades några kommersiella kapslingar som passade stationens konstruktion designades en egen kapsling i CAD, som sedan 3D-printades i PLA. Den första designen av kapslingen visas i figur 5.19a.

När den första kapslingen testades i praktiken upptäcktes ett problem med kabelhanteringen, då CSI-kabeln (Camera Serial Interface) var onödigt lång och stack ut från kapslingen, vilket försvårade monteringen. Den ursprungliga 200 mm långa CSI-kabeln ersattes därför med en kortare kabel på 38 mm. Bytet av kabel krävde att kapslingen designades om för att passa den nya kabeldragningen. Den omarbetade konstruktionen blev den slutliga designen som användes i systemet, och visas i figur 5.19b.



(a) Första designen av kapsling för Raspberry Pi AI-kameran.



(b) Slutlig design av kapsling för Raspberry Pi AI-kameran.

Figur 5.19: Utveckling av kapsling för Raspberry Pi AI-kameran.

5.4.4 Konstruktion av kapsling för HQ-kamera

Efter att begränsningar upptäcktes vid användning av AI-kamerorna togs en ny visionlösning fram baserad på en Raspberry Pi HQ-kamera med 16 mm-lins. För att kunna montera kameran på aluminiumprofilen designades en ny kapsling som anpassades för både kameran och linsen. Eftersom HQ-kameran tillsammans med linsen vägde mer än AI-kameran behövde konstruktionen utformas med fokus på stabilitet och säker montering. Någon kommersiell kapsling som passade projektets begränsningar och konstruktion hittades inte, därför designades kapslingen i CAD och tillverkades genom 3D-printing i PETG.

Efter flera olika designer och praktiska tester upptäcktes att det var tidskrävande och svårt att justera kameran helt rakt. För att förenkla justeringen beslutades därför att integrera ett vattenpass i konstruktionen. Ett särskilt fäste för vattenpasset designades direkt i kapslingen, som visas i figur 5.20



Figur 5.20: Kapsling för Raspberry Pi HQ-kamera där (1) visar det integrerade vattenpasset.

Kapslingen utformades för att kunna monteras tillsammans med det kullebsfäste och kamerafäste som tidigare användes för AI-kamerorna.

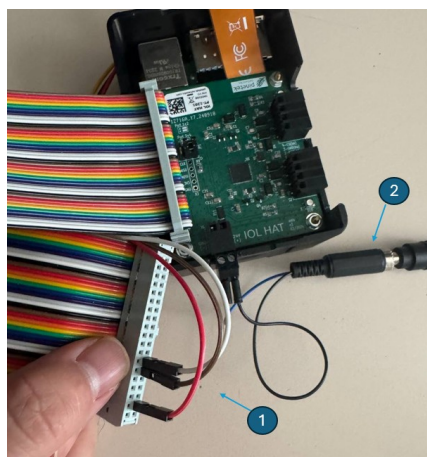
5.4.5 Kommunikationslösning mellan Raspberry Pi-enheter

För kommunikation mellan Raspberry Pi-enheter valdes en kabelbaserad kommunikationslösning för att uppnå stabilare dataöverföring. En kabelbaserad lösning bedömdes vara mer lämplig för en produktionsmiljö där störningar och instabil trådlös anslutning kan påverka systemets kommunikation. Med hjälp av USB-OTG [7] och USB Gadget-funktionalitet möjliggjordes SSH-kommunikation mellan huvudenheten och Raspberry Pi Zero-enheter via USB.

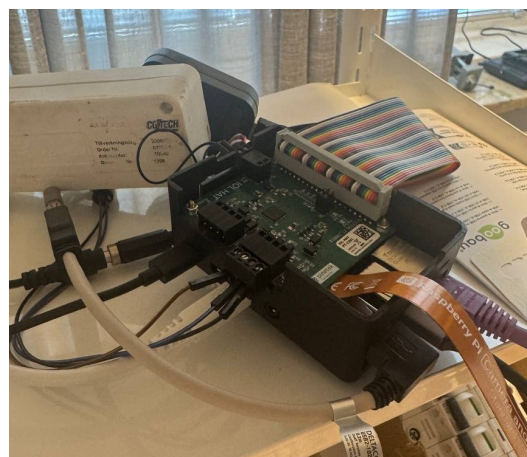
För att minska belastningen på huvudenheten valdes även att Raspberry Pi Zero-enheter skulle använda separata nätaggregat för strömförsörjning. Detta bidrog till stabilare drift av samtliga enheter i systemet. För att möjliggöra denna lösning modifierades USB-kablarna så att endast data kunde överföras mellan huvudenheten och Raspberry Pi Zero-enheter. 5 V-ledaren kopplades därför bort och endast dataledningarna behölls. Detta gjorde att Raspberry Pi Zero-enheter kunde strömförsörjas via externa nätaggregat samtidigt som dataöverföring via USB fortfarande fungerade.

5.4.6 Utveckling av elektronik och kabelhantering

Stationens huvudkort placerades inledningsvis under en hylla där komponenterna förvarades. Eftersom stationens slutliga arbetsmiljö kan variera beroende på kund ansågs denna placering inte vara en långsiktigt hållbar lösning. Konstruktionen medförde även komplicerad kabeldragning och begränsad åtkomst till anslutningarna. Den ursprungliga lösningen visas i figur 5.21.



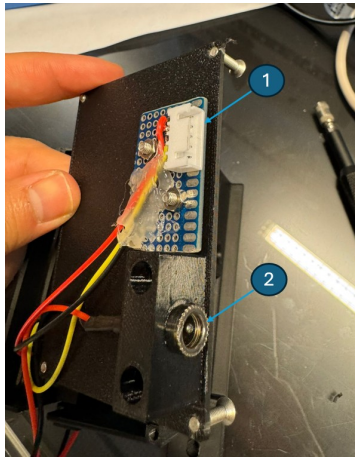
(a) Tidigare anslutningslösning där (1) visar manuellt anslutna ledningar för LED-belysning och (2) visar provisorisk 12 V-anslutning för sensorernas strömförsörjning.



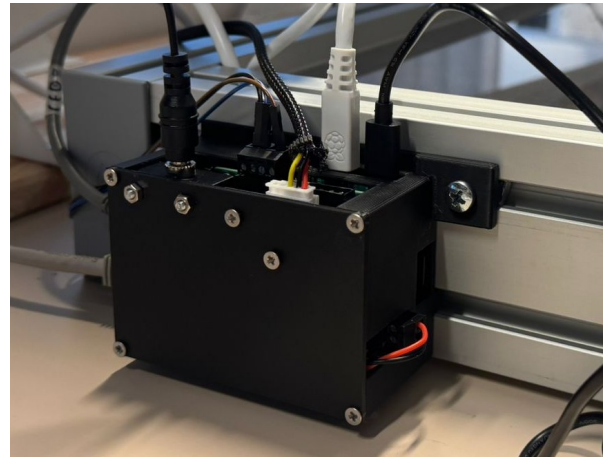
(b) Tidigare placering av huvudkort och externa anslutningar.

Figur 5.21: Första prototyplösningen för elektronik och kabeldragning innan vidareutveckling av den slutliga konstruktionen.

Den ursprungliga lösningen hade flera nackdelar, bland annat otydlig färgkodning av ledningar, instabila lödförbindelser samt begränsade möjligheter till felsökning och kabelhantering. För att förbättra konstruktionen utvecklades därför en mindre krets för anslutning av LED-belysning samt en säkrare koppling för 12 V-matning till sensorerna. Den förbättrade lösningen gav en mer organiserad kabeldragning och förenklade både montering och underhåll. En kapsling designades och 3D-printades för att kunna monteras direkt på stationen, vilket möjliggjorde en mer strukturerad kabelanslutning. Den färdiga konstruktionen visas i figur 5.22.



(a) Förbättrad anslutningslösning där (1) visar anslutning för LED-belysning och (2) visar 12 V-anslutning för sensorernas strömförsörjning.



(b) Slutgiltig konstruktion med förbättrad kabelhantering och kapsling.

Figur 5.22: Utveckling av anslutningslösning och kabelhantering för stationens elektronik.

6

Resultat

Syftet med projektet var att vidareutveckla en prototyp till en nära produktionsfärdig lösning för en monteringsstation i produktionsmiljö. Detta uppnåddes till stor del genom iterativ utveckling av olika lösningar för delsystemen, och implementering i den utsträckning som var möjligt.

6.1 Mekanisk konstruktion och systemintegration

Den slutliga konstruktionen uppfyllde flera projektmål som lyfts i projektets början. Den slutliga designen för infästningen av DIN-skenan möjliggjorde enkel montering och byte av DIN-skenor från olika leverantörer, samt kunde hantera varierande skenlängder med standardmått upp till 600 mm. Sänkning av plastskivan ledde också till att högre komponenter vid montering inte slår i plastskivan som ligger över displayen.

De olika inkapslingarna som konstruerades för Raspberry Pi:n och kameraenheterna gav stationen en mer kompakt och integrerad lösning. Inkapslingarna tillsammans med fästena som konstruerades för aluminiumprofilerna resulterade i att monteringsstationen blev mer modulär och flexibel i utvecklingsprocessen då det gav möjligheten att fästa varje enhet vid önskad position efter behov. Det gjorde också stationen mindre beroende av dess miljö för att fungera, främst för att den inte blir beroende av plockhyllans position.

Kommunikationen mellan Raspberry Pi, kameraenheter samt utvecklingsdator etablerades med USB-OTG vilket ledde till stabil dataöverföring via Ethernet mellan de olika enheterna. För kapslingen hos den centrala Pi-enheten integrerades även en krets som förbättrade de elektriska anslutningarna till de olika perifera enheterna i systemet, såsom lasern, scannern och LED-listen. I samband med detta omarbetades kabeldragningen vilket bidrog till att stationen fick ett mer enhetligt utseende samt att perifera enheter enklare kan anslutas och felsökas. En översiktsbild av den slutliga stationens konstruktion kan ses i appendix A.1.

6.2 Kamerasystem och verifiering

För kamerasystemet så visade sig top-down-perspektivet ge det mest tillfredställande resultatet gällande det geometriska perspektivet för verifiering, samt för en friare arbetsyta. Kameraenheterna monterades också på ett justerbart kullsfäste som gör det möjligt att ändra kamerans position och vinkel för vidare testning. Raspberry Pi HQ-kameran med tillhörande objektiv gav mycket bättre pixeldensitet än den föregående AI-kameran, vilket ofta är den begränsande faktorn för att kunna läsa små textmarkeringar på komponenterna. Den slutliga konfigurationen för kamerapositionen täcker dock inte en skena med

maxlängd 600 mm, men rekommendationer för höjd och brännvidd för objektivet återfinns i Tabell 5.1.

Visionsmodellerna som tränades visade ett bra verifieringsresultat för visuellt distinkta komponenter med tydligt mellanrum. Dock vid tätt placerade komponenter, samt komponenter där urskiljning endast kan göras med textmarkeringar visar modellen begränsad kapacitet. Vid modellens realtidsdetektion efter träning observerades bland annat felklassificeringar, missade detekteringar och ostabila konfidensvärden i varierande grad. Förbättringar av annoteringsmetoder gav marginella resultat, likaså träning på högre bildupplösningar såsom 960×960 och 1280×1280.

6.3 Uppfylldnad av systemkrav

Systemkraven som ställdes efter kundbesöket uppnådes med varierande resultat.

Tabell 6.1: Sammanfattning av verifierade systemfunktioner och observerade resultat.

Systemfunktion	Resultat
Verifiering av monterad komponent	Fungerande verifiering vid visuellt distinkta komponenter. Begränsad verifiering vid tät placering.
Verifiering av komponentposition	Position kan fås av begränsningsrutor som mappas till pixlar. Men beroende av verifieringsfunktion. Laser kan användas för positionsverifiering
Infästning för DIN-skena	Fungerar för DIN-skenor upp till 600 mm och varierande leverantörer.
Justerbar kameramontering	Möjliggör testning av flera kameravinklar och positioner för vidare utveckling.
Kabelhantering och elektronikmontering	Förbättrad struktur och åtkomst jämfört med tidigare prototyplösning.
Ergonomisk station för operatör	Relativt fri arbetsyta med låg risk för skada.
Integration i befintligt arbetsflöde	Då verifiering inte uppnådde målen har verifiering inte integrerats.

7

Slutsats och diskussion

7.1 Diskussion av resultat

Då monteringsstationens huvudfunktion med verifiering av komponent inte fullt utvecklades till en implementerbar lösning, visade visionsmodellen mycket potential. Med en fungerande objektdektion så finns möjligheten att verifiera komponenttyp och position samtidigt, genom användning av de utritade koordinaterna för begränsningsrutor. Efter testresultat vid träning med olika annoteringsmetoder, var det tydligt att så kallad *feature-bleeding* påverkade träningsdatan på ett negativt sätt. Då vill man hellre annotera en komponent med mellanrum eller en mindre del i mitten av komponenten.

Den slutliga konstruktionen av stationens olika infästningar och fästen var resultatet av en mängd olika iterationer där vi upptäckte problem efter varje iteration, men kom till slut fram till tillfredställande lösningar. Användandet av aluminiumprofiler för integrering med fästningar och inkapslingar av enheter möjliggjorde en flexibel konfiguration av både kameraposition och styrenheter. Detta betyder att stationen kommer vara väl lämpad för fortsatt utveckling, då den mekaniska konstruktionen kan anpassas efter behov. Infästningen för DIN-skenan blev också väldigt lätthanterlig och smidig att använda, dock så har ingen fullständig beräkning av dess livslängd gjorts.

7.2 Begränsingar

En begränsning med objektdektion som verifieringsmetod är att modellerna kan ta väldigt mycket processorkraft beroende på hur stort neuralt nätverk modellen har, Den modell som testades i detta projekt var främst YOLOv26m, vilket är en aning större än vad som rekommenderas att köras på edge-enheter. Då de nuvarande enheterna inte är så processorkraftiga, kan realtidsfeedback bli fördröjd mer än önskat.

Ytterligare en kostnadsfaktor för verifiering med visionsmodell är också tidsmängden för annotering. Träning av modellen skall kunna ske med relativt hanterbar friktion då plockhyllans konfiguration kan komma att skifta artiklar ofta. Då kan det vara svårt att tillräckligt snabbt samla ett tillräckligt stort dataset för att modellen skall kunna verifiera komponenter på ett tillförlitligt sätt. Det är mest sannolikt att modellen kommer tränas efter vad som finns i plockhyllan, då det finns tusentals olika komponenttyper.

I projektet användes YOLO från Ultralytics främst för dess enkla träningsprocess. Tyvärr får YOLO inte användas kommersiellt om materialet inte publiceras som öppen källkod. För kommersiell användning utan publicering, måste en kostsam licens införskaffas. Därför bör likvärdiga alternativ utforskas där kommersiell användning tillåts.

7.3 Framtida arbete

Då alla delar som printats med 3D-printer är av varierande plastmaterial, har dess livslängd inte noggrannt kalkylerats för dess funktion. Vid framtida arbete kan då ritningar användas för att printa nya konstruktioner med potentiellt starkare material, eller ersättas med ett likvärdigt alternativ som PK Data bedömer tillräckligt.

Även om verifieringen inte fick en produktionsfärdig lösning så är stationens resterande konstruktion och funktion en gedigen bas för fortsatt utveckling. Då kamerapositionen, fästen och integrerade inkapslingar för stationens olika delsystem nu är förbättrade till en mer modulär helhetslösning med mycket flexibilitet, kan fortsatt utveckling fokuseras på verifikationsmetoden.

Det finns en annan visionsmodell som hade kanske kunnat vara en lösning för det varierande perspektivfel som induceras vid tätt placerade komponenter. Denna modell vars potential undersöktes är också en YOLO modell från Ultralytics, men kallas för object segmentation [13]. Denna modell hade potentiellt kunna lösa problemet med de tätt placerade komponenterna, då klasser annoteras med hjälp av masker. Masker kan ritas i olika geometriska former, och är inte begränsat till rektanglar som begränsningsrutorna är.

Dock ökar detta tiden ytterligare för annotering samt kräver mer processorkraft för träning och inferens, då det neurala nätverket modellen bygger på ökar i komplexitet. Detta hade dock kunnat lösas med starkare hårdvara såsom en Raspberry Pi 5 med en AI-hat, som troligen hade klarat av den ökade beräkningskraften som krävs för denna modell.

För att hantera visuellt liknande komponenter hade någon form av hybridlösning med OCR-kapacitet behövts för att tillförlitligt kunna skilja komponenter med textmärkning.

7.4 Slutsats

Syftet med projektet var att vidareutveckla en monteringsstation så nära en produktionsfärdig lösning som möjligt. Prototypens mekaniska konstruktion och delfunktioner kunde utvecklas separat och integrerats för att säkerställa att monteringsprocessen har de bästa förutsättningarna för olika verifieringsmetoder.

På grund av tidsramen för projektet så hanns testning av ytterligare modeller, annoteringsmetoder och större dataset inte med i den omfattning som krävdes, vilket betyder att prototypen för tillfället inte har en tillförlitlig verifikationsmetod. Inriktningen mot visionsmodeller för verifiering av komponent visar dock på potential att kunna vara en riktigt tillförlitlig verifikationsmetod, förutsatt ett metodiskt och kalkylerat dataset tillsammans med lämplig visionsmodell.

Litteraturförteckning

- [1] Schneider Electric. Minibrytare MCB Acti9 iC60H 1-polig 16 A C-kurva, n.d. URL <https://www.se.com/se/sv/product/A9F07116/minibrytare-mcb-acti9-ic60h-1-p-16-a-ckurva-brytf%C3%B6rm%C3%A5ga-10-ka-vid-240-v-ac-enligt-en60898-15-ka-enl-en609472/>. Accessed: May 5, 2026.
- [2] National Instruments. Calculating camera sensor resolution and lens focal length, n.d. URL <https://www.ni.com/en/support/documentation/supplemental/18/calculating-camera-sensor-resolution-and-lens-focal-length.html>.
- [3] LUCA Logistics Solutions. Pick-to-light system, n.d. URL <https://www.luca.eu/en/pick-to-light-system/>. Accessed: Apr. 23, 2026.
- [4] Wikipedia contributors. DIN-skena — Wikipedia, den fria encyklopedin. <https://sv.wikipedia.org/wiki/DIN-skena>, 2025. Accessed: 2026-06-25.
- [5] Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi documentation - computers, n.d. URL <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html#introduction>. Accessed: Apr. 22, 2026.
- [6] Jolle W. Jolles. Broad-scale applications of the Raspberry Pi. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(9):1562–1579, 2021. URL <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/2041-210X.13652>.
- [7] Ravi Kiran K, Rizwan Mubarak Chikodi, Rashmi Soni, and Vaibhav Kumar Roy. Embedded real time media streaming over Ethernet via USB-OTG. In *2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*. IEEE, 2021. doi: 10.1109/MysuruCon52639.2021.9641573. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9641573>. Accessed: 2026-05-08.
- [8] Dassault Systèmes. CATIA Documentation. <https://www.3ds.com/products/catia>, 2025. Accessed: 2026-06-25.
- [9] OpenCV. OpenCV Documentation. <https://docs.opencv.org/>, 2025. Accessed: 2026-06-25.
- [10] Lista Cabinets. What is the optimal workbench height to increase productivity?, n.d. URL <https://listacabinets.com/blogs/lista-cabinets-blogs/what-is-the-optimal-workbench-height-to-increase-productivity>. Accessed: May 5, 2026.
- [11] Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi high quality camera, n.d. URL <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-high-quality-camera/>.

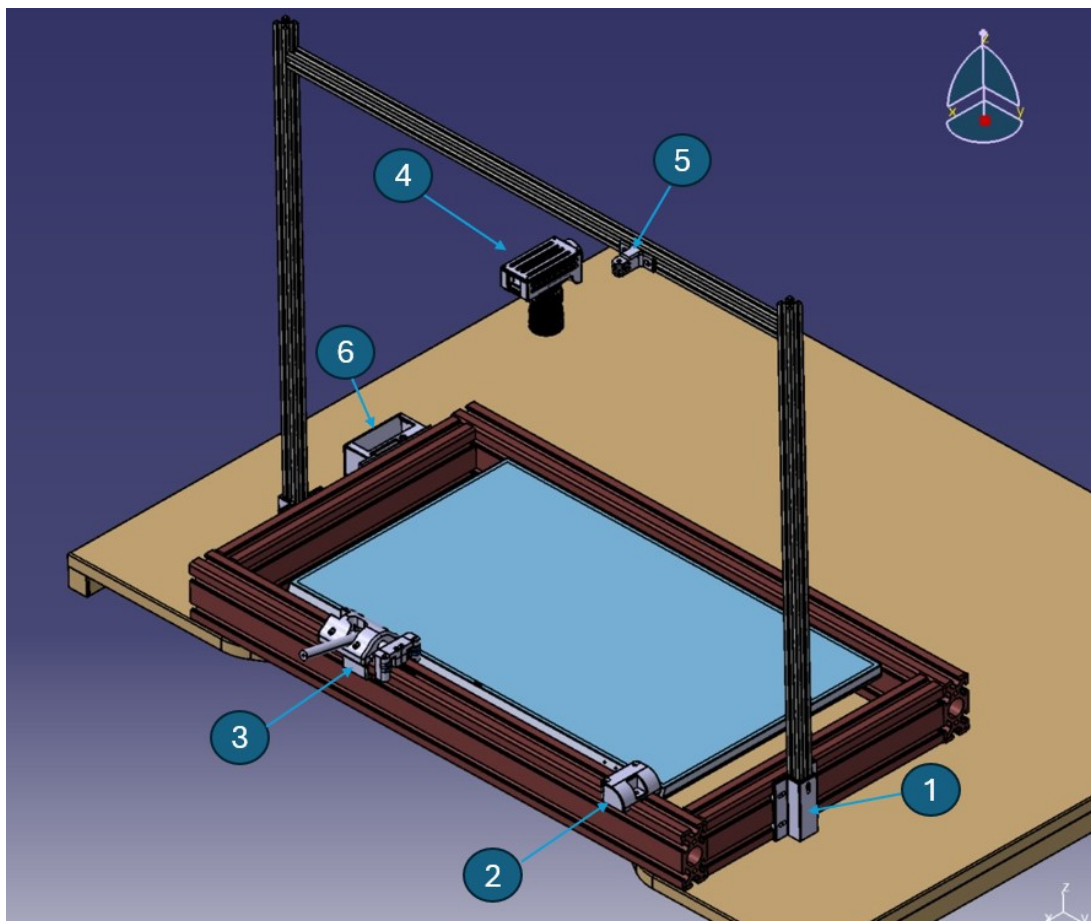
- [12] Ultralytics. Ultralytics documentation, n.d.. URL <https://docs.ultralytics.com/>. Accessed: May 5, 2026.
- [13] Ultralytics. Instance segmentation - Ultralytics YOLO documentation, n.d.. URL <https://docs.ultralytics.com/tasks/segment/>. Accessed: May 5, 2026.
- [14] HumanSignal. Get started with Label Studio, n.d.. URL https://docs.humansignal.com/guide/get_started. Accessed: May 5, 2026.

A

Appendix A – CAD-modeller och konstruktionsdesign

Denna bilaga presenterar CAD-modeller och konstruktionslösningar som utvecklades för visionsystemet. Bilagan innehåller mekaniska infästningar, kamerakapslingar, kamera-monteringar och elektronikbox som användes i den slutliga stationen.

A.1 Översiktsbild av stationen



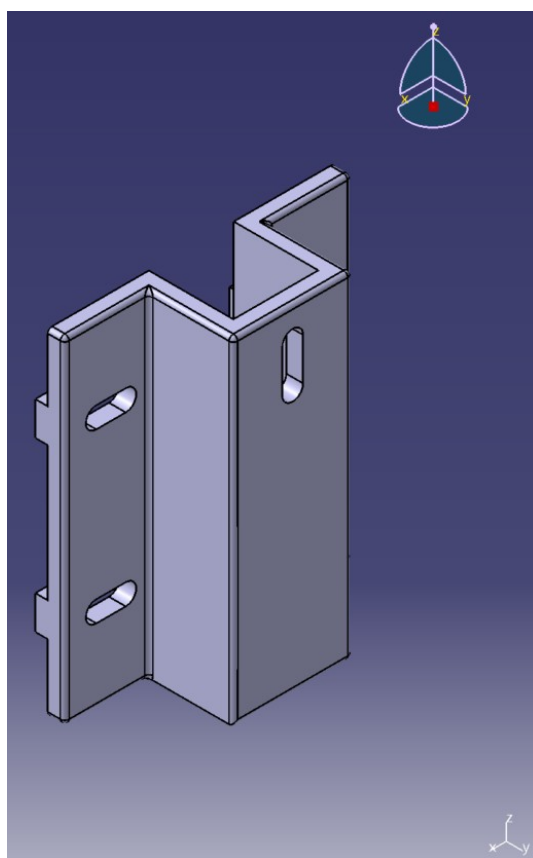
Figur A.1: Översiktsbild av visionsystemets CAD-modell med markerade konstruktionsdelar: (1) infästning mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofil, (2) höger infästning för DIN-skena, (3) vänster infästning, (4) kamerakapsling, (5) kamerainfästning för aluminiumprofil samt (6) elektronikbox.

Detaljerade bilder av respektive komponent återfinns i:

- Del (1): Figur A.2
- Del (2): Figur A.3
- Del (3): Figur A.4
- Del (4): Figur A.6
- Del (5): Figur A.5
- Del (6): Figur A.7

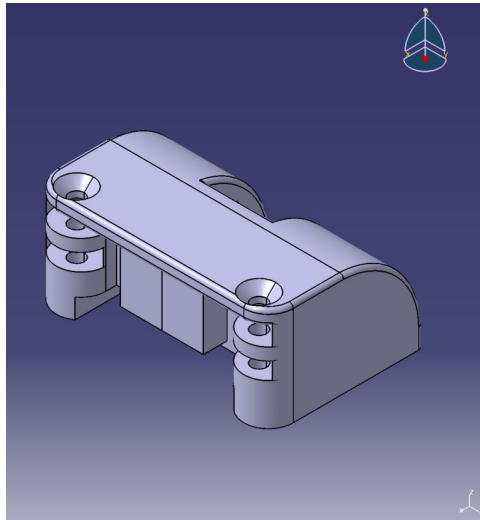
A.2 Infästningar och mekaniska konstruktioner

A.2.1 Infästning mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofil



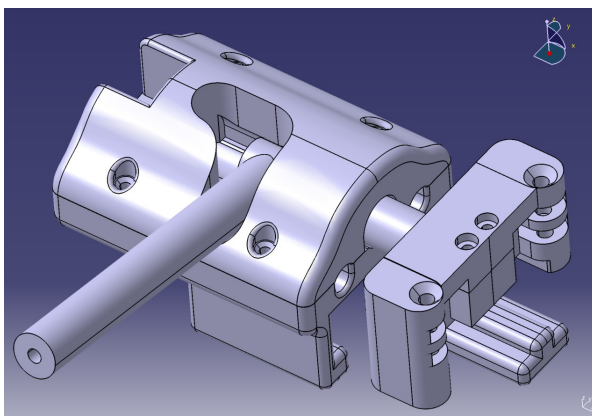
Figur A.2: CAD-modell av specialdesignad infästning för montering mellan 20×20- och 40×80-aluminiumprofiler.

A.2.2 Höger infästning för aluminiumprofil

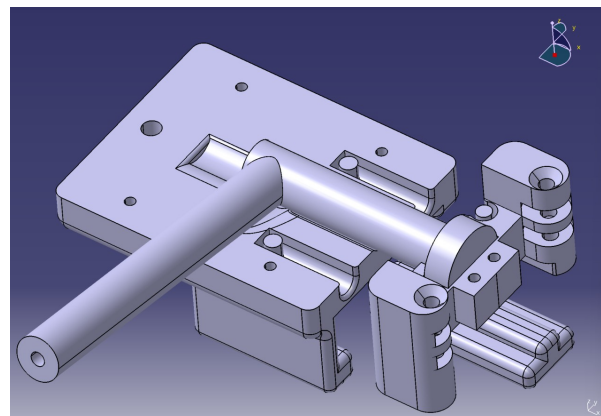


Figur A.3: CAD-modell av höger infästning för montering mot aluminiumprofil i vision-systemet.

A.2.3 Vänster infästning med låsmekanism



(a) CAD-modell av vänster infästning med integrerad lås- och justeringsmekanism.

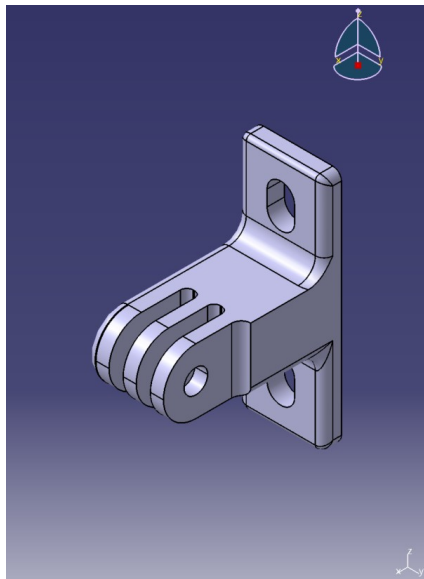


(b) CAD-modell av monterad vänster infästning med låsmekanism och styrrång.

Figur A.4: Vänster infästning med mekanisk lås- och justeringsfunktion för monterings-systemet.

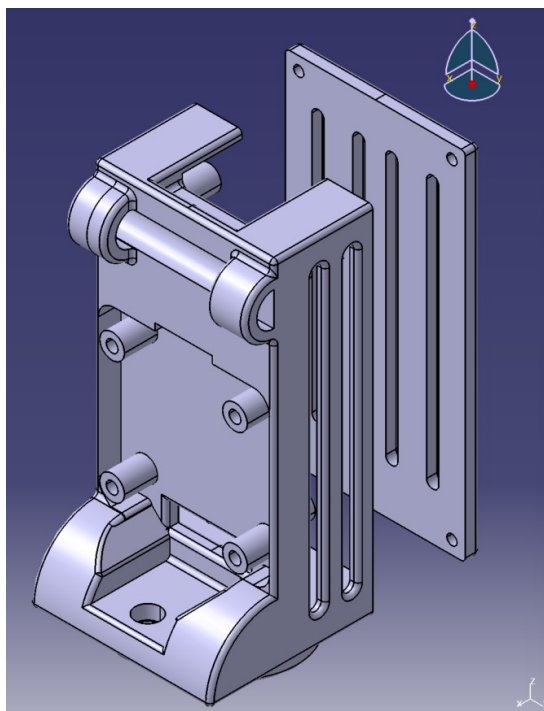
A.3 Kamerakapslingar och kameramonteringar

A.3.1 Kamerainfästning för aluminiumprofil



Figur A.5: CAD-modell av kamerainfästning för montering mot aluminiumprofil i visionsystemet.

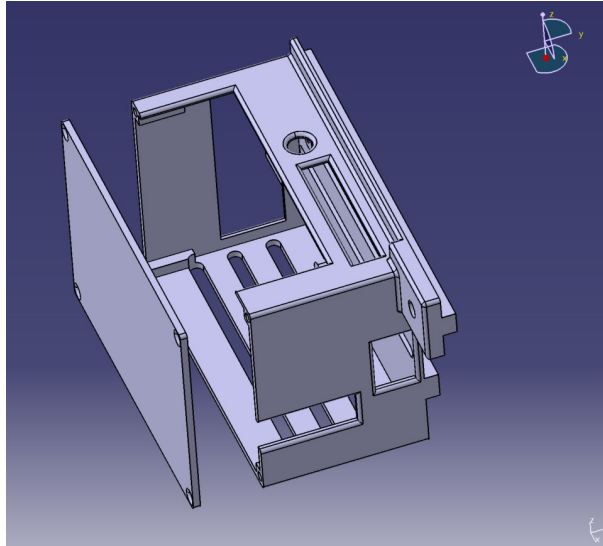
A.3.2 HQ-kamera kapsling



Figur A.6: CAD-modell av kapsling för Raspberry Pi HQ-kamera.

A.4 Elektronikbox

A.4.1 CAD-modell av elektronikbox



Figur A.7: CAD-modell av specialdesignad elektronikbox för montering av elektronik och kommunikationskomponenter i visionsystemet.



CHALMERS