

# **Optimering av produktionsmängden i en industriell tillverkningsprocess**

André Sundberg

Examensarbete för Ingenjör, El och automationsteknik (YH)-examen Vasa  
2026

## EXAMENSARBETE

Författare: André Sundberg

Utbildning och ort: EI- och automationsteknik, Vasa

Inriktning: Automationsteknik

Handledare: Mikko Jukkanen & Matts Nickull, Yrkeshögskolan Novia

Titel: Optimering av produktionsmängden i en automatiserad industriell process

---

Datum: 01.05.2025 Sidantal: 57

Bilagor: 40

---

### Abstrakt

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av ett globalt ledande elektronikföretag. Syftet med arbetet var att undersöka en automatiserad och robotiserad produktionsprocess samt planera optimeringsåtgärder för att öka produktionsmängden och minska materialspill. Processen består av fyra helautomatiserade celler med en till två robotar per cell samt ett gemensamt transportband som cirkulerar mellan cellerna. Under de senaste åren har produktionslinjen uppvisat prestandaförluster till följd av tidsrelaterat slitage, varierande komponentkvalitet och ineffektiva rörelsesekvenser.

Genom en analys av insamlad produktionsdata under en längre tidsperiod identifierades flaskhalsar, onödiga väntetider och störningar i flödet. För att möjliggöra en systematisk utvärdering har arbetet utförts med hjälp av flera programvaror, bland annat simuleringsplattformen **Visual Components**, robotprogrammeringsmiljön **ABB RobotStudio**, **Autodesk Fusion 360** för 3D-modellering samt **GrabCAD** för 3D-slicing och tillverkning av prototypdetaljer. Dessa verktyg har möjliggjort både virtuell testning och praktisk validering av optimeringsförslag, inklusive förbättrade gripverktyg, justerade cykler och effektivare layout.

Det har även planerats flera framtida optimeringsmöjligheter med simulering av processen, men arbetet har samtidigt resulterat i konkreta förbättringar av befintliga delmoment i produktionen. Resultaten visar att målen uppnåddes genom en ökad produktionsmängd och minskad cykeltid.

---

Språk: svenska

Nyckelord: optimering, simulering, maskinlärning, automation

# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: André Sundberg

Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikkaa, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Automaatiotekniikka

Ohjaaja(t): Mikko Jukkanen & Matts Nickull, Yrkeshögskolan Novia

Nimike: Tuotantomäärän optimointi automatisoidussa tuotantoprosessissa

---

Päivämäärä: 01.05.2025 Sivumäärä 57

Liitteet 40

---

## Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty maailmanlaajuisesti johtavan teknologiayhtiön toimeksiannosta.

Työn tarkoituksena oli tutkia automatisoitua ja robotisoitua tuotantoprosessia sekä suunnitella optimointitoimenpiteitä tuotantomäärän kasvattamiseksi ja materiaalihukan vähentämiseksi. Prosessi koostuu neljästä täysin automatisoidusta solusta, joissa on yksi tai kaksi robottia solua kohti, sekä yhteisestä kuljetushihnasta, joka yhdistää solut suljetuksi kierrokseksi. Viime vuosina tuotantolinja on kärsinyt suorituskyvyn heikkenemisestä, joka johtuu ajan myötä tapahtuneesta kulumisesta, komponenttien vaihtelevasta laadusta ja tehottomista liikesevensseistä.

Pitkän ajanjakson aikana kerättyjen tuotantotietojen analysoinnin avulla tunnistettiin pullonkaulat, tarpeettomat odotusajat ja häiriöt virtauksessa. Järjestelmällisen arvioinnin mahdollistamiseksi työ on suoritettu useiden ohjelmistojen avulla, muun muassa **Visual Components** -simulointialustan, **ABB RobotStudio** -robottiohjelmointiympäristön, **Autodesk Fusion 360** -3D-mallinnusohjelmiston sekä **GrabCAD** -3D-viipalointiohjelmiston ja prototyyppiöiden valmistuksen avulla. Nämä työkalut ovat mahdollistaneet sekä virtuaalisen testauksen että optimointiehdotusten käytännön validoinnin, mukaan lukien parannetut tartuntatyökalut, säädetyt syklit ja tehokkaamman layoutin. Prosessin simulointia hyödyntäen on suunniteltu myös useita tulevia optimointimahdollisuuksia, mutta työ on samalla johtanut konkreettisiin parannuksiin tuotannon nykyisissä osavaiheissa. Tulokset osoittavat, että tavoitteet saavutettiin tuotantomäärän kasvulla ja syklin keston lyhentämisellä.

---

Kieli: Suomi

Avainsanat: optimointi, simulointi, konenäkö, automaatio

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: André Sundberg

Degree Programme: Electrical Engineering and Automation, Vaasa

Specialization: Automation

Supervisor(s): Mikko Jukkanen & Matts Nickull, Yrkeshögskolan Novia

Title: Optimization of Production Output in an Automated Industrial Process

---

Date: 1.5.2025      Number of pages 57

Appendices 40

---

### **Abstract**

This thesis was carried out on behalf of a leading global electronics company.

The aim of the work was to investigate an automated and robotized production process and to plan optimization measures to increase production volume and reduce material waste. The process consists of four fully automated cells with one to two robots per cell and a common conveyor belt that connects the cells in a closed circuit. In recent years, the production line has experienced performance losses due to time-related wear and tear, varying component quality and inefficient movement sequences.

An analysis of production data collected over a long period of time identified bottlenecks, unnecessary waiting times and disruptions in the flow. To enable a systematic evaluation, the work was carried out using several software programs, including the Visual Components simulation platform, the ABB RobotStudio robot programming environment, Autodesk Fusion 360 for 3D modelling, and GrabCAD for 3D slicing and prototype part manufacturing. These tools have enabled both virtual testing and practical validation of optimization proposals, including improved gripping tools, adjusted cycles and more efficient layout.

Several future optimization opportunities have also been planned to use process simulation, but the work has also resulted in concrete improvements to existing sub-processes in production. The results show that the goals were achieved through increased production volume and reduced cycle time.

---

Language: English

Key words: Optimization, Simulation, Machine Vision, Automation

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte.....	1
1.2	Avgränsning.....	2
1.3	Metod.....	2
1.4	Central terminologi.....	2
2	Teori.....	4
2.1	Teoretisk referensram för produktionsoptimering.....	5
2.2	Presentation av produkten.....	6
2.2.1	Produktens funktion.....	6
2.3	Verktyg och programvara.....	6
2.3.1	RobotStudio & Integrated Vision.....	7
2.3.2	IRC5 & Flexpendant.....	8
2.3.3	Visual Components.....	9
2.3.4	Autodesk Fusion 360.....	11
2.3.5	Omron Sysmac.....	11
2.3.6	Prusa Core One.....	11
2.3.7	Microsoft POWER BI.....	12
2.4	Relevanta standarder.....	12
2.5	Lean.....	13
2.5.1	Pionjär inom Lean.....	14
2.6	Beskrivning av den befintliga processen.....	15
2.6.1	Översikt av produktionslinje.....	15
2.7	Produktionsdata och nulägesanalys.....	18
3	Analys och optimeringsåtgärder.....	20
3.1	Översiktlig processanalys.....	20
3.1.1	Cell 1.....	20
3.1.2	Cell 2.....	20
3.1.3	Cell 3.....	21
3.1.4	Cell 4.....	21
3.2	Teknisk analys.....	22
3.2.1	Cell 1.....	22
3.2.2	Cell 2.....	22
3.2.3	Cell 3.....	23
3.2.4	Cell 4.....	24
3.2.5	Reparationsstation.....	24
3.3	Test av fysiska förbättringar.....	24

3.3.1	Test 1. Belysning.....	24
3.3.2	Test 1 Del 2. Optimering av belysning via mjukvara.....	31
3.3.3	Test 2. Gripverktyg .....	40
3.4	Simuleringsmodell .....	41
4	Resultat .....	43
4.1	Produktionsdata efter konkret utförda uppdateringar .....	44
4.2	Beräkningar av medeltal baserat på produktionsdatat.....	45
5	Diskussion.....	45
5.1	Tolkning av resultat.....	46
5.2	Metodens styrkor.....	47
5.3	Hållbarhet och kostnader .....	47
5.4	Förslag på fortsatt arbete .....	49
6	Källförteckning.....	50

# 1 Inledning

I detta examensarbete behandlas optimering av en automatiserad och robotiserad process. Detta examensarbete innefattar en simuleringsstudie av produktionslinjen, identifiering och implementering av konkreta optimeringsåtgärder samt konstruktion av nya komponenter för processen.

Allt började med att ett globalt elektronikföretag gav som uppdrag att utföra en undersökning av en automatiserad och robotiserad process som övervakas och körs av operatörer, för att identifiera flaskhalsar samt planera förbättringsåtgärder för att optimera produktionsmängden.

Den aktuella processen är helautomatiserad och består av flera robotstationer som tillsammans tillverkar en produkt, bestående av tio olika komponenter, från början till slut. Processen körs i treskift, vilket betyder att den körs dygnet runt fem dagar i veckan. Detta innebär att processen är resurskrävande både vad gäller energi, personalresurser och underhåll.

Framtidsplanerna för processen innefattar en övergång till tvåskiftsdrift, utan att kompromissa med produktionskapaciteten. Delmålet är även att förbättra hållbarheten på processen ur ett miljömässigt perspektiv.

Mot denna bakgrund uppstod behovet att genomföra en analys av processens effektivitet och identifiera åtgärder som kan möjliggöra en övergång till en mer hållbar, kostnadseffektiv och optimerad produktion.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att analysera en automatiserad och robotiserad produktionsprocess som idag körs i treskift, i syfte att identifiera flaskhalsar och planera förbättringsåtgärder för att öka produktionsmängden. Delmålet är att möjliggöra en övergång till tvåskiftsdrift utan att produktionskapaciteten försämras, samt att förbättra processens hållbarhet och kostnadseffektivitet.

Ett viktigt delmål är att uppdatera den nuvarande simuleringsmodellen för processen. Den uppdaterade modellen ska kunna användas i framtiden som grund för att genomföra de förbättringsåtgärder som planeras.

## **1.2 Avgränsning**

Detta examensarbete omfattar analys av produktionsdata, identifiering av flaskhalsar, uppdatering av en befintlig simuleringsmodell, konkret uppgradering av robotverktyg, hållbarhetsaspekter samt ekonomiska bedömningar av eventuell ny utrustning.

Arbetet avgränsas däremot från detaljerad miljöcertifiering, djupgående livscykelanalyser, personalrelaterade faktorer såsom arbetsmiljö och bemanning.

## **1.3 Metod**

Arbetet inleddes med en insamling och analys av produktionsdata från den aktuella automatiserade produktionslinjen. Data hämtades från företagets befintliga system och kompletterades med observationer och samtal med operatörer för att identifiera eventuella flaskhalsar och effektivitetsbrister i processen.

En befintlig simuleringsmodell användes som grund, vilken uppdaterades för att spegla aktuella produktionsförhållanden. Modelleringen genomfördes i programmet **Visual Components**.

## **1.4 Central terminologi**

### **Automatiserad process**

En tillverkningsprocess som genomförs utan kontinuerlig manuell inblandning. Maskiner, robotar och styrsystem arbetar tillsammans för att skapa en färdig produkt.

### **Robotstation**

En del av produktionslinjen där en industrirobot utför uppgifter som exempelvis montering, hantering eller kvalitetskontroll.

**Flaskhals**

Ett moment i processen som har lägre kapacitet än övriga delar och därmed bromsar upp det totala flödet. Identifiering och borttagning av flaskhalsar är centralt vid optimering.

**Simuleringsmodell**

En digital representation av produktionsflödet som används för att testa olika scenarier och förbättringsförslag utan att störa den verkliga produktionen.

**PLC (Programmable Logic Controller)**

Ett programmerbart styrsystem som används inom industriell automation för att övervaka och styra maskiner och processer i realtid.

**Tvåskiftsdrift / Treskiftsdrift**

Driftformer där produktionen pågår i två respektive tre skift per dygn. En övergång från treskift till tvåskift kan spara resurser men kräver optimering för att bibehålla kapacitet.

**Hållbarhet**

Inom detta arbete avser hållbarhet både miljömässiga aspekter t.ex. energiförbrukning och spill samt teknisk hållbarhet såsom slitagetakt och driftsäkerhet över tid.

**Materialspill**

Det material som går till spillo under produktionen på grund av avklipp, defekter eller överproduktion. Mätning och minskning av spill är viktigt både ur miljö- och kostnadssynpunkt.

**Cykeltid**

Den tid det tar för en produkt att färdigställas från start till slut i en specifik del av processen eller hela produktionslinjen. Kortare cykeltid innebär ofta högre effektivitet.

**Taktid**

är den teoretiskt beräknade tidsram som anger det maximala tidsutrymme som får användas för att producera en enhet för att produktionen ska motsvara kundens efterfrågan.

**OEE**

(Overall Equipment Effectiveness) är ett nyckeltal för att mäta effektiviteten hos en produktion som är baserad på tre faktorer, dessa är prestanda, tillgänglighet och kvalitet.

## **RCA**

(Root Cause Analysis)

En metod som används för att identifiera grundorsaken till ett problem i en process.

## **Maskinseende**

En teknik där kameror och bildanalys används för att möjliggöra så att maskiner kan uppfatta och tolka visuell data. I praktiken innebär det att en kamera kombineras med programvara som analyserar bilden i realtid, ofta för att upptäcka fel, identifiera objekt som sedan påverkar vilket beslut roboten eller logiken gör. Ett konkret exempel på tillämpningen av maskinseende behandlas under avsnitt 3.2.

## **2 Teori**

Kapitlet beskriver den teoretiska referensram som ligger till grund för analys och optimering av den studerade automatiserade produktionsprocessen. Syftet är att ge en tydlig och sammanhållen bild av de begrepp, metoder och tekniska förutsättningar som påverkar produktionskapacitet, effektivitet och hållbarhet i en industriell miljö.

Inledningsvis behandlas centrala begrepp inom produktionsoptimering, såsom cykeltid, flaskhalsar och materialspill. Dessa begrepp utgör grunden för analysen av produktionsflödet och används genomgående i arbetet. Därefter presenteras den produkt samt den befintliga produktionsprocess som examensarbetet utgår ifrån, för att skapa en nödvändig teknisk kontext.

Vidare beskrivs de verktyg, programvaror och styrsystem som använts, liksom de industristandarder som påverkar hur automatiserade produktionssystem utformas, styrs och modifieras. Avslutningsvis introduceras Lean som teoretisk ram för arbetet. Lean används för att identifiera slöseri, analysera värdeflöden och strukturera förbättringsarbetet.

Kapitlet fungerar därmed som grund för de analyser, simuleringar och förbättringsförslag som presenteras i de efterföljande kapitlen.

## 2.1 Teoretisk referensram för produktionsoptimering

De begrepp som definierats i [\(Kap 1.5\)](#) utgör tillsammans grunden för att förstå, analysera och optimera en automatiserad produktionsprocess. I denna del beskrivs hur dessa begrepp samverkar i praktiken och hur de har tillämpats i detta arbete.

En **automatiserad process** består av maskiner, robotar och styrsystem som samverkar utan kontinuerlig manuell inblandning. Effektiviteten i en sådan process avgörs av flera faktorer, där **cykeltid**, **flaskhalsar**, och **materials spill** är centrala.

En **flaskhals** uppstår när en del av processen har lägre kapacitet än övriga delar och därmed begränsar det totala flödet. I denna analys har flaskhalsar identifierats genom produktionsdata, observationer och simuleringar, där särskilt robotstationer i vissa celler visade på förlängd cykeltid.

**Cykeltiden**, alltså den tid det tar att färdigställa en produkt, har använts för att kvantifiera effektivitet och identifiera förbättringspotential. I ett automatiserat system kan minskad cykeltid i flaskhalsen ge en märkbar ökning i hela linjens kapacitet.

Materials spill har analyserats utifrån både miljömässigt och ekonomiskt perspektiv. Onödigt spill påverkar hållbarheten negativt och ökar kostnaderna, vilket gör minimering av spill till en viktig del av optimeringsarbetet.

I linje med en övergång från treskiftsdrift till tvåskiftsdrift har det varit centralt att säkerställa att produktionskapaciteten bibehålls, trots minskad bemanningstid. Det kräver att både cykeltid och flaskhalsar förbättras.

Styrningen av produktionen sker via PLC-system, som möjliggör realtidsstyrning och övervakning. Dessa har varit en del av det tekniska arbetet i samband med optimering och simulering.

Simuleringsmodellen som använts i arbetet har varit ett kraftfullt verktyg för att testa scenarier, analysera flöden och visualisera effekter av föreslagna förbättringar – utan att

störa den verkliga driften. Här har också Visual Components använts som simuleringsplattform.

Hållbarhet, både teknisk och miljömässig, har beaktats genom att analysera slitagetakt, energiförbrukning och resursutnyttjande. Detta kopplar även till Lean-principer, där målet är att eliminera slöseri och skapa värde med minsta möjliga resurser.

Tillsammans bildar dessa begrepp en helhetsbild över vad som krävs för att en automatiserad process ska bli både effektiv, lönsam och hållbar. Genom att förstå och tillämpa dessa principer har detta examensarbete kunnat identifiera konkreta åtgärder för att öka produktionsmängden utan att kompromissa med kvalitet eller resurshushållning.

## **2.2 Presentation av produkten**

Produkten som används i en elektrisk brytenhet är konstruerad att försäkra isolering och funktionssäkerhet av koppling i elektriska kretsar upp till 4000A

### **2.2.1 Produktens funktion**

Varje del innehåller ett par huvudkontakter som förs samman eller separeras när manövern aktiveras. När operatören vrider handtaget överförs denna rörelse via en mekanisk koppling till produktdelarna, vilket gör att deras kontaktpunkter antingen pressas ihop med definierad kraft eller fullt separeras. På så sätt säkerställs en tydlig och pålitlig avbrotts- eller tillslagsfunktion oberoende av belastning. (ABB AB, 2025)

## **2.3 Verktyg och programvara**

Under arbetets gång användes flera olika program och verktyg som fyllde olika roller i processen. Microsoft Power BI användes för att hantera och visualisera produktionsdata, vilket gav en tydlig översikt över variationer och återkommande mönster. Excel fungerade som ett kompletterande verktyg för att jämföra perioder och kontrollera beräkningar.

### **2.3.1 RobotStudio & Integrated Vision**

RobotStudio är ett ingenjörsvärktyg för att konfigurera, programmera och simulera robotar både online och offline.

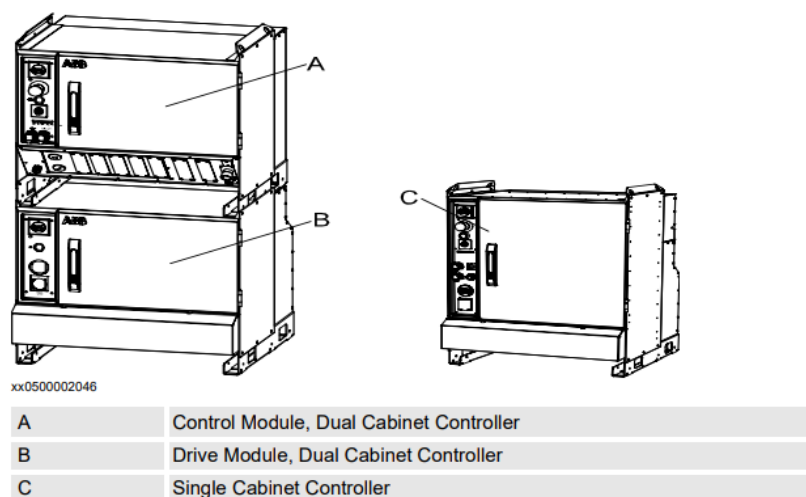
Programmet används för att modellera robotceller i en PC, bygga stationer, importera utrustning, skapa virtuella styrsystem och testa hela processer utan att påverka den verkliga produktionen. Verktøget innehåller ett komplett RAPID-programmeringsgränssnitt, funktioner för kollisionskontroll, simulering av rörelser, hantering av I/O och felsökning direkt i den virtuella miljön. (ABB AB, 2019)

#### **Integrated Vision**

Integrated Vision är ett tillägg till robotens styrsystem där kameror och bildbehandling integreras direkt mot kontroller och RAPID-program. Vision funktionen används för att upptäcka objekt, bestämma deras position och orientering samt ge dessa koordinater till robotprogrammet. (ABB AB, 2019)

Systemet bygger på att användaren först definierar ett bildverktyg via konfigurationsmiljön, där kameran kalibreras och referenser sätts upp. När vision jobbet är konfigurerat levererar det positionsdata till roboten i form av koordinater som kan användas i Move-instruktioner eller för att korrigera robotens rörelse i realtid. Dokumentet betonar att vision integrationen sker "inne i" robotkontrollern, vilket gör att kommunikationen med robotens motionssystem blir snabb och förutsägbar. (ABB AB, 2018)

### 2.3.2 IRC5 & Flexpendant

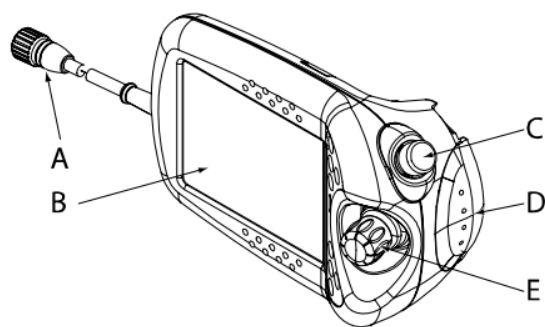


Figur 1. Översikt av IRC5-styrsystemets uppbyggnad (bearbetad). Källa: (ABB AB, 2004)

IRC5-styrsystemet är utformat för att hantera samtliga funktioner som krävs för att styra och förflytta en industrirobot. I sin standardkonfiguration består systemet av ett fristående styrskåp. Utöver denna version finns även en mer kompakt variant, IRC5 Compact, samt en version avsedd för montering i externt apparatskåp, så kallad panelmonterad controller.

Vid tillämpningar där flera robotar styrs av samma system, genom användning av MultiMove-funktionen, krävs att ett separat drivmodul installeras för varje ytterligare robot. Själva styrmodulen är dock gemensam för samtliga robotar som kontrolleras av systemet. Kontrollmodulen i IRC5-systemet innehåller den elektronik som ansvarar för styrning och logik, inklusive huvudprocesser, in- och utgångskretskort samt minnesenheter. Det är i denna modul som robotprogram exekveras och systemets övergripande funktion hanteras.

Drivmodulen utgör kraftelektronikdelen i systemet och förser robotens motorer med nödvändig elektrisk effekt. En drivmodul i ett IRC5-system kan innehålla flera drivsteg och är dimensionerad för att styra ett antal interna axlar samt, beroende på robotmodell, även externa axlar. (ABB AB, 2004)



en0300000586

A	Connector
B	Touch screen
C	Emergency stop button
D	Enabling device
E	Joystick

Figur 2. Flexpendant, handhållen panel för styrning av IRC5-systemet (bearbetad). Källa: **(ABB AB, 2004)**

FlexPendant är en handhållen operatörsenhet som används vid drift och hantering av robotsystem. Den möjliggör bland annat start och stopp av robotprogram, manuell förflyttning av roboten samt justering och redigering av robotprogram direkt vid anläggningen.

Vissa systemfunktioner kan dock inte hanteras via FlexPendant. Exempelvis administrering av användarbehörigheter utförs via RobotStudio och kräver därför tillgång till detta verktyg enligt anvisningar i tillhörande manual.

FlexPendant består av både hårdvara och mjukvara och fungerar som en självständig dator. Den är en integrerad del av IRC5-styrsystemet och är ansluten till kontrollenheten via en dedikerad kabel och kontakt. Med stöd för så kallad hot plug-funktion kan FlexPendant kopplas bort under automatisk drift utan att produktionen avbryts.

Enheten är konstruerad för kontinuerlig användning i industriella miljöer. Pekskärmen är utformad för att tåla smuts, olja, fukt och mindre mekanisk påverkan, vilket gör FlexPendant lämplig för användning i produktionsmiljöer med höga krav på driftsäkerhet. (ABB AB, 2004)

### 2.3.3 Visual Components

Företaget Visual Components grundades 1999 i Finland och är en programvara som används för att planera och visualisera produktionsmiljöer i 3D. Programmet används i industrin för att kunna testa idéer och bygga upp produktionslösningar digitalt utan att

behöva påverka den faktiska driften. Det gör det möjligt att prova olika alternativ, se hur en uppställning fungerar i praktiken och justera arbetsflöden innan något byggs i verkligheten. (Visual Components, 2025)

Programmet använder sig av olika verktyg för att skapa realistiska simuleringar, där Process Modelling-funktionen är särskilt central. Dessutom har Visual Components integrerat fysiksimuleringar som tar hänsyn till verkliga fysiska krafter, vilket gör att simuleringarna blir mer trovärdiga och användbara för verkliga tillämpningar.

Plattformen är flexibel och kan anpassas efter olika behov inom tillverkning och robotprogrammering. Den används i praktiken för att planera fabrikslayouter och produktionslinjer, och stödjer användare genom hela utvecklingsprocessen från planering till implementering. Visual Components har etablerat sig som en betydande aktör inom området 3D-simulering för tillverkningsindustrin. (Visual Components, 2025)

Simuleringsverktyg används i industrin för att simulera produktion, vilket gör det möjligt att förutsäga händelser, beräkna tider och planera produktionen redan i tidiga faser av produktionsutvecklingsprocessen. Simuleringsteknologier möjliggör effektiv skapande, testning och optimering av design av produkter och produktionssystem i virtuella världar, vilket innebär att företag kan hitta optimerade lösningar som bibehåller lönsamhet, produktion, kvalitet och arbetarnas välbefinnande. Genom simulering kan ingenjörer hitta effektiva och ändamålsenliga designlösningar med färre fysiska prototyper och färre ombyggnationer, vilket sparar utvecklingstid och pengar samt är mer hållbart.

Digital human modeling-verktyg kan användas för att simulera människor som arbetar i produktionen, där ergonomiska utvärderingar kan utföras för att bedöma om arbetsstationens design erbjuder lämpliga ergonomiska förhållanden för arbetarna. Simuleringar kan kopplas till flermåls-optimeringsmetoder för att optimera flera designmål samtidigt, vilket leder till bättre designlösningar. Genom att använda simuleringsbaserad flermåls-optimering kan både produktivitet och ergonomiska faktorer optimeras samtidigt i stället för att betraktas separat, vilket ger mer optimala lösningar för arbetsstationsdesign, layout och linjebalansering. (Iriondo Pascual, 2023)

### 2.3.4 Autodesk Fusion 360

Utvecklingen av nya gripperdelar och andra mindre konstruktioner genomfördes i **Autodesk Fusion 360** där modellerna ritades innan de skrevs ut. För att förbereda och skriva ut prototyper användes **PrusaSlicer** tillsammans med en **Prusa Core One** 3D-skrivare, vilket gjorde det möjligt att snabbt ta fram delar för test i produktionen.

Autodesk Fusion 360 är ett kraftfullt verktyg för 3D modellering och är ett molnbaserat designprogram. Programmet används inom många branscher för olika saker som till exempel design, tillverkning och även analys. (Autodesk, 2025)

### 2.3.5 Omron Sysmac

Sysmac Studio är Omrons programvara som används för att arbeta med Sysmac-baserade automationssystem. Programmet gör det möjligt att via en dator konfigurera och programmera styrsystem samt hantera deras funktioner. Verktöget är främst avsett för användning tillsammans med styrsystem i NJ-, NX- och NY-serierna och fungerar som den centrala miljön för utveckling och hantering av dessa controllers. (Omron, 2025)

### 2.3.6 Prusa Core One

Core one är en 3D-skrivare som levereras som byggsats och monteras av användaren enligt Prusa Researchs steg-för-steg-manual. Manualen beskriver hur skrivaren byggs upp från grunden, inklusive montering av ram, CoreXY-mekanism, värmebädd, Nextruder-printhead, elektronik och kapsling. Ingen lödning eller kabelkrimpning krävs, då alla komponenter är förberedda från fabrik. Monteringsprocessen är uppdelad i tydliga kapitel med både text och bilder för att säkerställa korrekt installation och funktion innan första uppstart och kalibrering genomförs. (Prusa Research, 2025)

Prusa CORE One är en helt innesluten CoreXY-baserad 3D-skrivare designad för att kombinera hög utskriftskvalitet med snabb prestanda. Den är byggd med en stabil stålram som ger god mekanisk styvhet och robusthet, och den har en stängd byggkammare som hjälper till att hålla en jämn temperatur under utskrift, vilket förbättrar resultatet för olika material. CORE One har en byggvolym på 250 × 220 × 270 mm, vilket ger en betydande yta för att skriva ut funktionella prototyper och större modeller. (Prusa Research, 2025)

### 2.3.7 Microsoft POWER BI

Power BI som utvecklats av Microsoft och först lanserades 2014 som en del av Office 365, har senare utvecklats till en fristående BI-plattform och är idag ett av de mest använda BI-verktygen på marknaden. Power BI erbjuder kraftfulla analys- och visualiseringsverktyg som möjliggör kontinuerlig övervakning av centrala nyckeltal, såsom leveransprecision, lagernivåer, ledtider och leverantörsprestanda. (Nabil;Rahman;Chowdhury;& Menezes, 2023)

Tillsammans gjorde dessa verktyg det möjligt att kombinera dataanalys, konstruktion, programmering och simulering på ett sätt som gav en helhetsbild av processen och stödde utvecklingen genom hela arbetet.

## 2.4 Relevanta standarder

I arbetet har flera industristandarder varit relevanta att förhålla sig till både indirekt och i samband med de praktiska moment som ingår i en automatiserad produktionsmiljö. Eftersom processen bygger på robotceller och flera olika styrsystem finns det naturligt en uppsättning riktlinjer som industrin brukar luta sig mot, och som även varit viktiga att ha i åtanke under projektets gång.

När det gäller robotsystem är det framför allt **ISO 10218-2** som används som grund för hur industrirobotar ska integreras i en produktionscell. Den standarden handlar till stor del om säkerhet, men också om hur robotar och kringutrustning ska samverka på ett sätt som minskar risken för fel och oväntade rörelser. Även om arbetet inte gått in i detalj på säkerhetskonstruktioner, så påverkar denna standard hur robotcellerna är uppbyggda i fabriken och vilka begränsningar som finns när man arbetar med programmering och justeringar.

På PLC-sidan är **IEC 61131-3** den kanske viktigaste standarden. Den definierar hur moderna styrsystem programmeras, alltså upplägget med Ladder, FBD, Structured Text och de andra vanligt förekommande språken. Eftersom flesta delar av processen styrs via Omrons PLC är det i praktiken denna standard som styr hur logiken struktureras och hur kommunikationen mellan robot, sensorer och annan utrustning byggs upp.

När det gäller utvecklingen av de nya gripverktygen och andra fysiska prototyper har additiv tillverkning varit ett viktigt inslag. För 3D printning finns riktlinjer i **ISO/ASTM 52900** som beskriver grundläggande begrepp och metoder inom additiv produktion. Den standarden används inte som ett regelverk på samma sätt som säkerhetsstandarder gör men den ger en förståelse för hur 3D printade komponenter skall designas och vilka begränsningar tekniken kan ha.

En annan standard som är mer övergripande men ändå relevant är **ISO 12100**, som handlar om maskinsäkerhet och riskbedömning. Den spelar en roll i bakgrunden eftersom alla ändringar i automatiserade celler bör ta hänsyn till riskhantering, även om de förbättringar som gjordes i detta arbete inte krävde några större förändringar i maskinsäkerheten. Standardens principer är ändå närvarande eftersom de påverkar hur maskiner och robotar får modifieras och vilka arbetssätt som är tillåtna.

Sammanlagt skapar dessa standarder ett ramverk som arbetet mer eller mindre naturligt har följt. Det handlar inte om att allt i projektet strikt certifierats mot en viss standard, utan snarare om att produktionen redan är uppbyggd enligt dessa riktlinjer. Därför blir arbetets resultat och de analyser som gjorts mer tillförlitliga, eftersom de är genomförda i en miljö som följer etablerade principer för säkerhet, styrsystem och konstruktion. Standarderna ger helt enkelt en stabil grund att stå på och gör att förbättringarna som föreslås passar in i den verklighet som fabriken redan arbetar efter.

## 2.5 Lean

Lean vilar på ett antal grundprinciper som tillsammans skapar ett effektivt och kundorienterat produktionssystem. Dessa principer beskriver hur värde definieras, hur processen ska flöda och hur produktionen ska styras för att minimera slöseri och stärka helhetens effektivitet. Lean-metoden har fungerat som grund för detta arbete och har använts för att strukturera analysen av processens värdeskapande och förbättringspotential.

**Kundvärde** innebär att utgångspunkten är att skapa värde för kunden med att förstå vad kunden vill ha,

**Värdeflöde** innebär en kartläggning av processen från början till färdig produkt för att få fram hur värdet skapas. Detta möjliggör identifiering av del moment som inte höjer värdet och kan sedan endera förbättras eller elimineras.

**Kontinuerligt flöde** innebär att när de momentet som inte har skapat något värde har tagits bort så skall produktionsflödet utformas så att både material och information rör sig smidigt och oavbrutet igenom processen.

**Dragande system** är att i stället för att producera enligt prognoser så skall man producera enligt efterfrågan, varje steg startas först när det nästa steget behöver material. I längden minskar detta överproduktion och lagerhållning.

**Ständiga förbättringar** betyder att alltid sträva efter ständiga förbättringar så som effektivitet eller enklare sätt att arbeta. Mindre förbättringar bidrar även till ökad kvalitet och konkurrenskraft över tid. (Dekier, 2012)

### 2.5.1 Pionjär inom Lean

Grunden till Lean filosofin kan spåras till det produktionssystem som kom fram inom Toyota under ledning av Toyoda-familjen samt ingenjören Taiichi Ohno under början av 1900-talet.

Sakichi Toyoda som originellt verkade inom textilindustrin uppfann en motoriserad vävstol som stannade automatiskt när tråden tog slut. Detta var startpunkten för principen Jidoka, vilket innebär automatisering där maskiner och människor samarbetar för att undvika fel. Denna princip blev senare en av grundstenarna till Toyota Production System (TPS).

Kiichiro Toyoda son till Sakichi besökte Fords Fabrik år 1950 i USA och blev inspirerad av deras löpbandsproduktion. Han insåg at den japanska marknaden krävde mer flexibelt arbetsätt, som svar utvecklade han konceptet Just-in-Time. Detta innebar att tillverkningen skulle styras av efterfrågan för att minska lagerhållning och slöseri. Detta var andra grundstenen för Toyota Production System (TPS) som senare vidare utvecklades av Eiji Toyoda, kusin till Kiichiro och ingenjören Taiichi Ohno. De kombinerade Jidoka och Just-in-Time principerna för att skapa det moderna Toyota Production Sytem (TPS). (Dekier, 2012)

I detta examensarbete har Lean använts som teoretisk referensram för att analysera produktionslinjens nuläge och identifiera förbättringsområden. Genom att kartlägga processflödet kunde flaskhalsar och väntetider identifieras, vilket låg till grund för simuleringar av alternativa lösningar. Målet har varit att öka produktionsmängden och minska tidsförluster. Som en del av arbetet har en Lean Six Sigma Yellow Belt-certifiering genomförts, vilket har gett ytterligare kunskap inom strukturerad problemlösning, processförbättring och grundläggande statistiska verktyg.



Figur 3. Certifikat för avslutad kurs.

## 2.6 Beskrivning av den befintliga processen

I detta kapitel beskrivs den aktuella produktionslinjens uppbyggnad, funktion samt kort historia. Här beskrivs processens struktur, de ingående cellerna och deras roller, samt material och informationsflödet genom anläggningen. Vidare redovisas insamlad produktionsdata, med fokus på effektivitet, kapacitet och eventuella identifierade begränsningar.

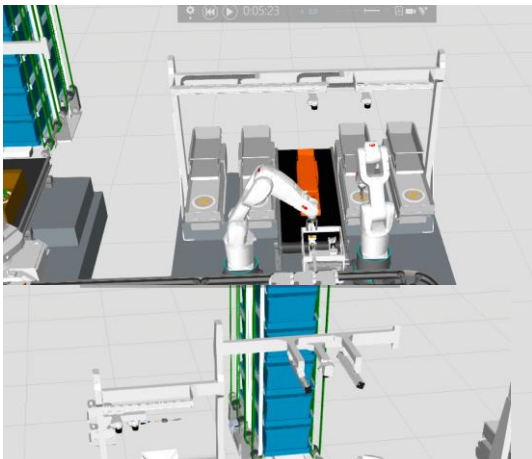
### 2.6.1 Översikt av produktionslinje

Den befintliga produktionslinjen består av fyra celler som är sammankopplade med ett transportband. Varje cell har en specifik uppgift i tillverkningsprocessen. Cellerna innehåller olika mekaniska funktioner, såsom gripdon, rotationsenheter, lyftanordningar och transportmekanismer. Dessa funktioner styrs av ett programmerbart logiksystem

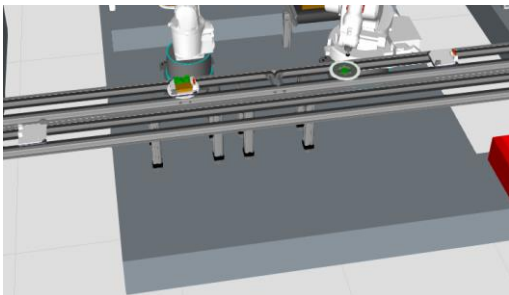
(PLC), som koordinerar rörelserna och sekvenserna i samspel med robotarna och övrig automation i linjen.

Ursprungligen har produkten tillverkats för hand på denna linje och har sedan i ett senare skede automatiserats på grund av ökad efterfrågan. Detta har lett till tekniska problem eftersom produkten och komponenterna inte är optimerade för automatiserad hantering.

I den första cellen arbetar två robotar som tillsammans bygger grunden till mekanismen med hjälp av fyra komponenter, och placerar den färdiga enheten på en transportör. I den första cellen arbetar två robotar som tillsammans bygger grunden till mekanismen med hjälp av fyra komponenter, och placerar den färdiga enheten på en transportör. Ovanför matningsenheterna finns kameror utrustade med maskinseende som hjälper robotarna att lokalisera produkterna och avgöra deras orientering innan de plockas upp.



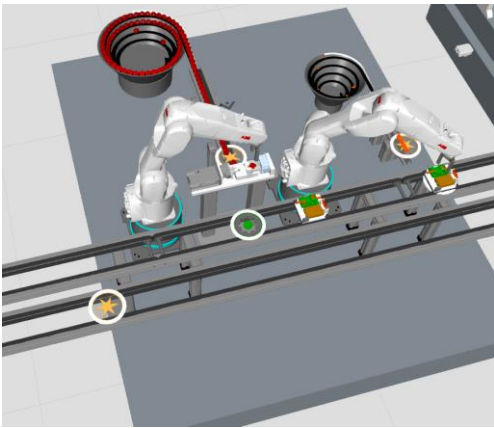
Figur 4. Cell 1.



Figur 5. Cell 2.

Den andra cellen består också av två robotar med olika uppgifter. Den första roboten hämtar skalet till produkten och delar det i två delar, bottendel och lock som sedan placeras bredvid varandra på fixturen, vilken är monterad på en transportör. Sedan söker den ett fönster som den monterar i bottendelen. Den andra roboten kör två komponenter genom en smörjstation och monterar dem därefter i bottendelen av skalet.

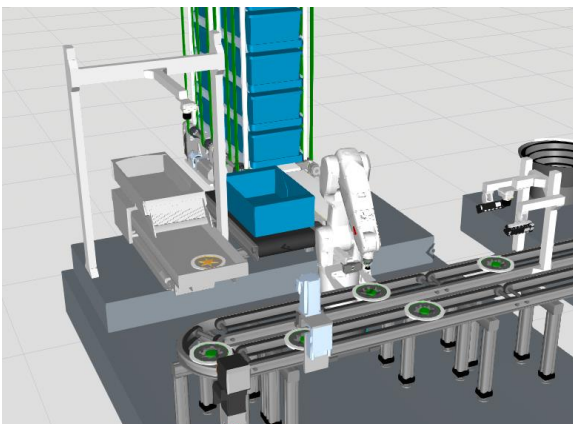
Den tredje cellen består även av två robotar med unika uppgifter. Den första roboten placerar sex små delar, en i taget, i skalet. Därefter åker transportören vidare till den andra roboten i cellen, som plockar upp den mekanism som byggdes i cell ett från transportören. Roboten sammanfogar denna med en annan komponent vid en skild station och placerar sedan den färdiga enheten på rätt plats tillbaka inuti skalet som ligger på transportören.



Figur 6. Cell 3.

Den fjärde cellen består av en robot samt en mekanisk teststation. Innan locket monteras stannar transportören först vid en kontrollstation, där en kamera tar bilder av produkten och jämför dessa med ett visuellt referensexemplar som inom industrin benämns som "Golden sample". Om inga delar saknas och måtten stämmer, skickas transportören vidare till roboten, som monterar locket på skalet.

Sedan körs den vidare till det mekaniska testet, där funktionalitet och säkerhet testas.



Figur 7. Cell 4

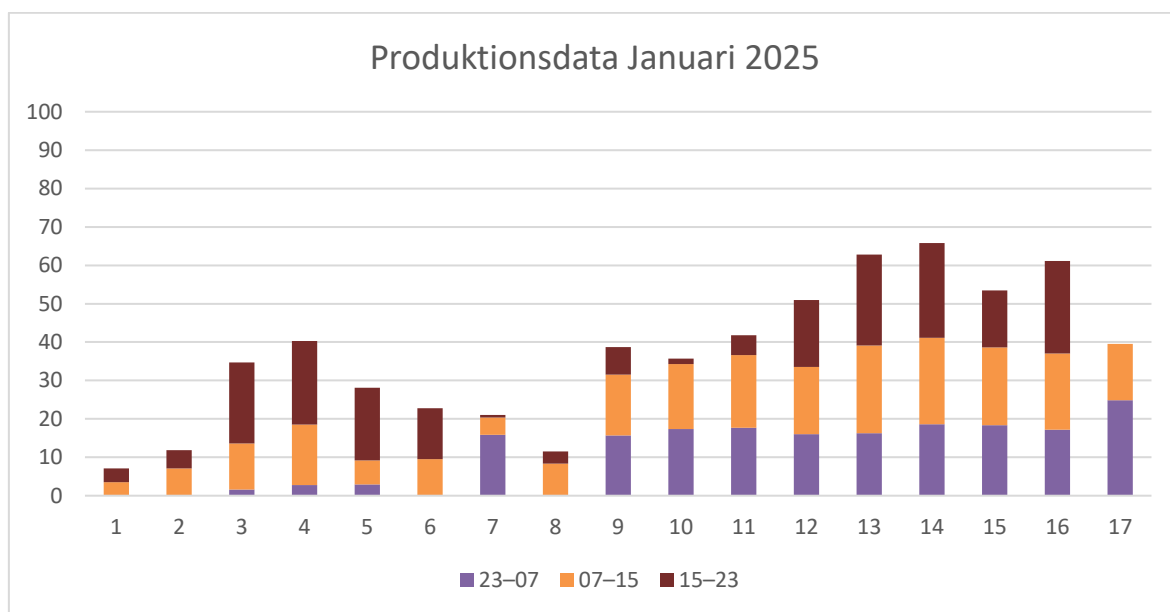
Om den godkänns av både kamerainspektionen och det mekaniska testet, lyfter roboten den färdiga produkten till en låda för godkända enheter.

Om produkten underkänns redan vid kamerainspektionen, dirigeras den automatiskt via ett separat transportband förbi mekaniska teststationen till en skrotstation, där den släpps ner i en låda för kasserade produkter.

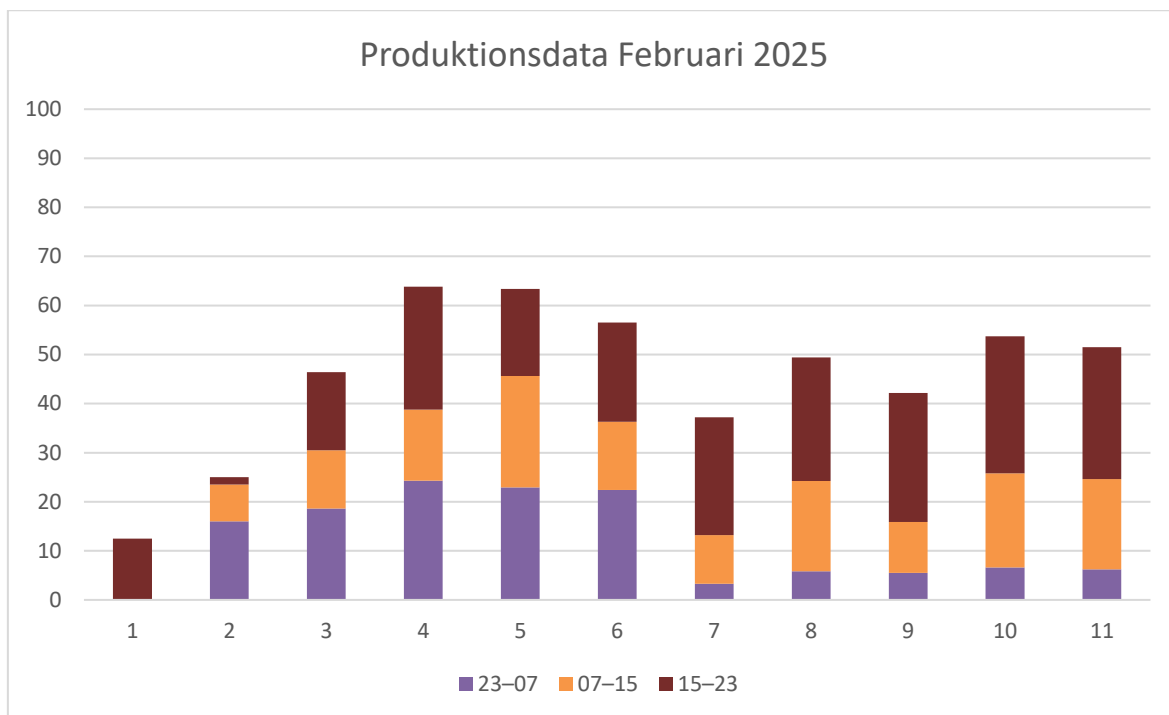
Om produkten klarar kamerainspektionen men inte det mekaniska testet, lyfter roboten den till en separat låda för icke godkända produkter.

## 2.7 Produktionsdata och nulägesanalys

I denna del analyseras produktionsdata från perioden 02.01.2025 - 27.01.2025 och 02.02.2025 – 28.02.2025. Under dessa månader utfördes inga optimeringar gällande examensarbetet, och kommer därför användas som referensperiod för att kunna bedöma förbättringarnas effekt. Följande data har normaliserats på begäran av uppdragsgivaren för att skydda känsligt data.



Figur 8. Produktionsdata Januari 2025.



Figur 9. Produktionsdata Februari 2025.

Med följande ekvationer kan man ta reda på medeltalet enheter producerat per skift under en månad samt mängden enheter producerat per dag under en månad.

$$\text{Medelproduktion per skift} = \frac{\text{Summa av alla värden per skift}}{\text{Antal dagar skiftet kördes}}$$

$$\text{Medelproduktion per dag} = \frac{\text{Totalproduktion per dag}}{\text{Antal dagar}}$$

### Januari

Nattskift: 11 enheter

Morgonskift: 14 enheter

Kvällsskift: 11,9 enheter

Medeltal av enheter producerat per dag under januari= 36,7 enheter

### Februari

Nattskift: 12 enheter

Morgonskift: 13,3 enheter

Kvällsskift: 20,3 enheter

Medeltal av enheter producerat per dag under februari = 45,8 enheter

Det finns ett utsatt produktionsmål vilket motsvarar index 100 per dag. Med följande ekvation tar vi reda på hur många procent processen ligger efter det utsatta målet.

$$\text{Skillnad i \%} = \left( \frac{\text{Medeltalet av produktionen per månad} - \text{Produktionsmålet}}{\text{Produktionsmålet}} \right) \times 100$$

Januari ligger 63,3 % under produktionsmålet

Februari ligger 54,4 % under produktionsmålet

### 3 Analys och optimeringsåtgärder

Följande avsnitt analyseras den befintliga produktionslinjen med fokus på att identifiera flaskhalsar och andra faktorer som påverkar effektiviteten. Analysen baseras på insamlat produktionsdata, observationer samt tester genomförda i processen. De identifierade förbättringsområdena presenteras cell för cell, där respektive problemområde beskrivs och möjliga optimeringsåtgärder diskuteras.

#### 3.1 Översiktlig processanalys

##### 3.1.1 Cell 1

I cell 1 uppstår problem i robotens avkänning av om det finns produkter på matningsenheten. Detta leder till osäker plockning och sporadiska stopptillstånd. För att förbättra förutsättningarna har belysningen föreslagits att uppgraderas med LED-lampor avsedda för maskinseende, monterade i specialdesignade fästen som har modellerats i Autodesk Fusion och 3D-printats i materialet Diran.

##### 3.1.2 Cell 2

I cell 2 uppstår en mindre effektivitetssänkning på grund av ett extra rotationsmoment vid robotens hantering av skal och fönster. Detta moment behövs för att orientera fönstret

korrekt innan montering, vilket förlänger cykeltiden även om problemet inte är kritiskt för den totala linjens prestanda. Ett identifierat förbättringsområde är att utveckla en lösning som möjliggör direktplockning av fönstret i rätt orientering från matningsenheten. Genom att kombinera ett mer avancerat maskinseende med ett optimerat gripverktyg skulle det extra rotationssteget kunna elimineras och processen göras mer effektiv.

### **3.1.3 Cell 3**

Cell 3 är i behov av omfattande mekaniska åtgärder. Analysen visar att problemen i Cell 3 främst beror på slitage i både vibrationskålen och den linjära mataren. Glidbanan i skålens inre har slitits ned, vilket förändrar friktionen och den styrda rörelse som delarna normalt följer. När ytan inte längre leder komponenterna på ett kontrollerat sätt börjar de röra sig långsammare, fastnar eller hopar sig i små kluster.

Den linjära mataren uppvisar liknande tecken på förslitning. Ökad friktion och slitna styrningar gör att matningen inte sker med en jämn hastighet. Dessa variationer orsakar oregelbundna luckor i flödet – vissa komponenter kommer fram normalt, medan andra fördröjs eller inte når fram i tid.

Robotens egen funktion påverkas inte direkt av matningsproblemen, eftersom den helt enkelt väntar när det saknas en del att plocka, men konsekvensen för processen är betydande. När matningen inte håller takten byggs det snabbt upp en kö av transportörer bakom cell 3. Varje gång cell 3 bromsar höjs därmed den totala taktiden för hela linjen, vilket i förlängningen minskar produktionsvolymen.

Sammanfattningsvis leder slitaget i matningsutrustningen till ett instabilt materialflöde som inte längre matchar kraven i den övriga processen, och detta får en direkt negativ effekt på linjens kapacitet. Problemet avses lösas genom kontakt med leverantörer av matningssystem för att utreda ersättningsalternativ och konkurrensutsätta ett helt nytt system för framtida drift.

### **3.1.4 Cell 4**

Cell 4 påverkar inte taktiden direkt, men processen innehåller moment som kan optimeras för att öka driftsäkerheten. Problemet uppstår när roboten plockar ett lock i fel orientering

från matningsenheten. Om ett felvänt lock förs till fixturen på cylindern kan det fastna i stället för att falla av, vilket orsakar avbrott i monteringen.

Ett föreslaget förbättringsområde är att vidareutveckla fixturens design så att endast korrekt orienterade lock kan passera. En justering av fixturens geometri, exempelvis med en smalare och brantare fläns, skulle göra att felvända lock automatiskt glider av och inte fastnar. En sådan lösning skulle stabilisera processen och minska risken för stopp.

## **3.2 Teknisk analys**

Den tekniska analysen har genomförts för att förstå de orsakerna till de flaskhalsar och problem som identifierades i ([kap 3.1](#)). Fokuset har lagts på maskinseendets prestanda, robotarnas rörelser samt mätningssystemets funktion och konstruktion.

### **3.2.1 Cell 1**

Den tekniska analysen visar att cell 1 påverkas av varierande ljusförhållanden, främst på grund av stora fönster i cellområdet och slitage av underlaget som produkterna ligger på. Solinstrålning och skiftande kontraster orsakar störningar i kamerabilden, vilket försämrar maskinseendets förmåga att korrekt identifiera objekt på matningsenheten. Detta leder till att roboten ibland plockar fel eller tar en för lång tid på sig att göra ett beslut.

### **3.2.2 Cell 2**

Cell 2 är det främst robotens extra rotationsmoment som bidrar till ökad cykeltid. Genom teknisk analys av robotens bana framgår det att den nuvarande lösningen innebär flera onödiga förflyttningar, först en vertikal plockning, sedan förflyttning till fixtur, därefter vänder den gripverktyget och plockar den med sig igen, och till sist montering i skalet. Med en mer avancerad kamera och anpassat gripverktyg skulle det vara möjligt att plocka fönstret i rätt orientering direkt från matningsenheten. Detta skulle inte bara eliminera extra rörelser utan också minska mekaniskt slitage och energiförbrukning.

### 3.2.3 Cell 3

Analysen visar att problemen i cell 3 främst beror på slitage i både vibrationskålen och den linjära mataren. Banan i vibrationskålen har slitits ned, vilket förändrar friktionen och den styrda rörelse som delarna normalt följer. När ytan inte längre leder komponenterna korrekt börjar de förflytta sig långsammare, fastna eller samlas i kluster.

Den linjära mataren uppvisar motsvarande slitage i glidytor och styrningar. Detta gör att matningen inte längre sker med en stabil och repeterbar hastighet, utan varierar beroende på friktion och mekaniskt motstånd. Resultatet blir oregelbundna luckor i flödet där vissa delar matar fram som de ska medan andra fördröjs eller uteblir.

Robotens funktion påverkas inte direkt av dessa variationer – den väntar helt enkelt när ingen komponent finns att plocka men effekten för processen är tydlig. När matningen inte håller takten byggs det snabbt upp köer av transportörer bakom cellen, vilket förlänger den praktiska taktiden och sänker linjens totala produktionsvolym.

Utöver matningen har gripverktyget för den andra roboten analyserats. Verktyget använder gummibeklädda greppytor som slits snabbt och tappar både form och friktion. Det leder till varierande greppkraft och små förskjutningar i komponentens position när roboten lyfter eller sätter ned den.

Utifrån analysen är en tekniskt rimlig lösning att själv konstruera och tillverka ett nytt gripverktyg, optimerat för cellens behov. Genom att designa ett verktyg i ett mer slitstarkt material och med en greppyta som behåller sin form över tid kan repeterbarheten förbättras och underhållsbehovet minska. En egenutvecklad konstruktion skulle även sänka kostnaderna jämfört med maskinbearbetade originalverktyg och göra verktygets funktion mer stabil och funktionssäker över längre drifttid.

På grund av slitaget i matningssystemet och de ökande variationerna i robotens hantering har det planerats att kontakta leverantörer för att utreda ersättningsalternativ samt konkurrensutsätta ett helt nytt matningssystem för framtida drift.

### **3.2.4 Cell 4**

Den tekniska analysen visar att problemet i cell 4 uppstår på grund av den mekaniska interaktionen mellan locket och fixturen på cylindern. När roboten plockar ett lock i fel orientering förändras kontaktpunkterna mot fixturens ytor. Det gör att kraftfördelningen blir ogynnsam, vilket i vissa fall leder till att locket kilar fast i stället för att släppa.

Den ursprungliga fixturens geometri med relativt bred läpp och flack vinkel gör att ett felvänt lock får en större anliggningsyta mot fixturen. Detta ökar risken för statisk friktion, vilket förhindrar locket från att glida av. Ett korrekt orienterat lock har däremot en annan kontaktgeometri och lossnar enligt designen, vilket skapar en känslighet som gör systemet beroende av exakt orientering.

Genom att planera en ny fixtur med en mindre läpp som har smalare profil och brantare vinkel kan fixturens funktion förbättras. Den brantare vinkeln minskar den effektiva kontaktytan och tvingar locket att tappa anliggning och falla av vid fel orientering. Samtidigt innebär en tunnare läpp att friktionsmomentet minskar, vilket reducerar risken för att locket hänger fast.

### **3.2.5 Reparationsstation**

Utöver cellernas individuella förbättringar skall det planeras en reparationsstation som byggs mellan cell 3 och cell 4. Detta område är avsett för att hantera produkter som inte klarat de visuella testerna på grund av exempelvis en sned komponent eller en saknad detalj som kan åtgärdas manuellt. Genom att möjliggöra snabb omarbetning av sådana mindre fel kan produkterna sedan skickas tillbaka till kamerakontrollen i cell 4 för en ny inspektion, i stället för att direkt kasseras. På så sätt minskas kassationen, samtidigt som kvalitetsnivån upprätthålls och resursanvändningen förbättras.

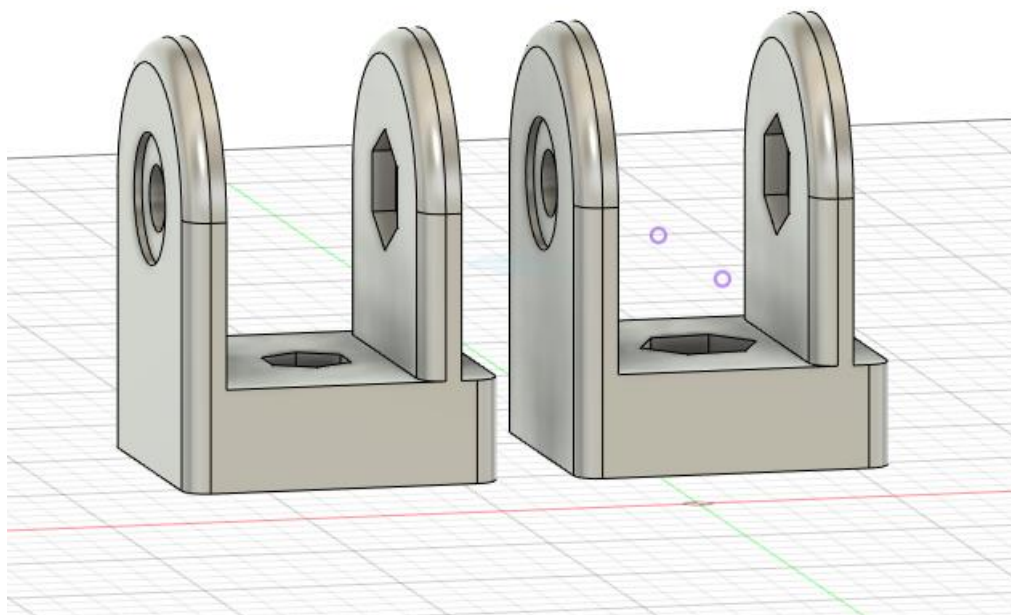
## **3.3 Test av fysiska förbättringar**

### **3.3.1 Test 1. Belysning**

I ett inledande försök att förbättra produktionsmängden samt öka takttiden i cell 1 testades fysiska åtgärder på en komponentmatare.

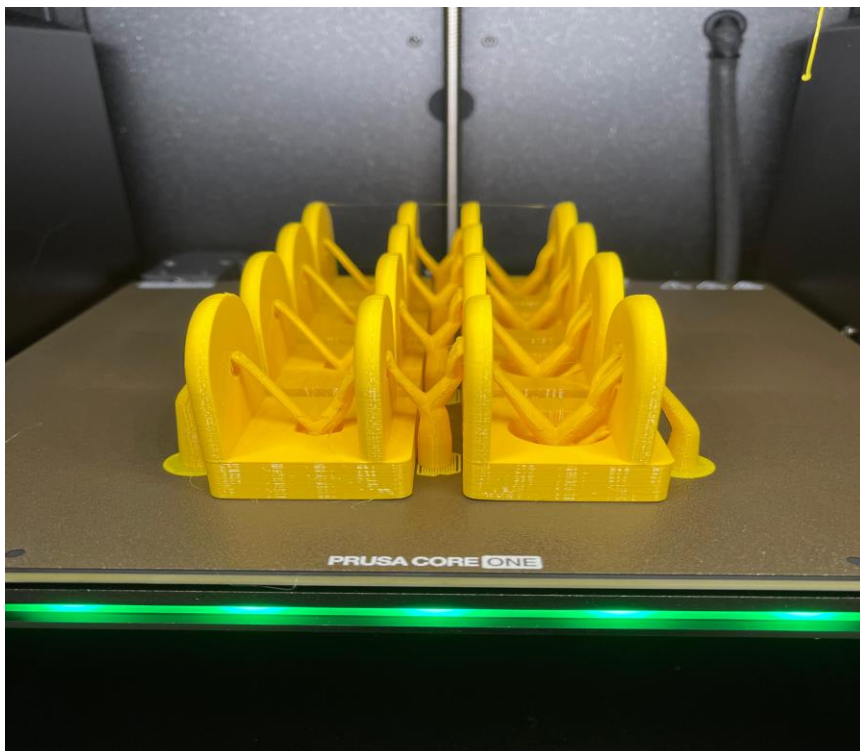
Som ett första steg valdes att förbättra belysningen ovanför komponentmataren, i syfte att underlätta för robotens bildigenkänningsystem att identifiera produkterna snabbare. En extern LED-lampa av modell **ELBC-300SW** (24 V) beställdes för ändamålet.

För att kunna montera lampan på ett funktionellt och flexibelt sätt ritades ett ställbart fästsystem i **Fusion 360**. Fästet konstruerades så att lampans vinkel enkelt skulle kunna justeras i efterhand för optimal belysningsvinkel mot mataren.



Figur 10. 3D-modell.

Det färdiga fästet tillverkades genom 3D-utskrift i PETG, vilket möjliggjorde snabb iteration och låg kostnad. Montering utfördes ovanför komponentmataren i cell 1, och lampan riktades mot den yta där produkterna fördelas.



Figur 11. Byggplattans layout.



Figur 12. Utprintade gångjärnen.

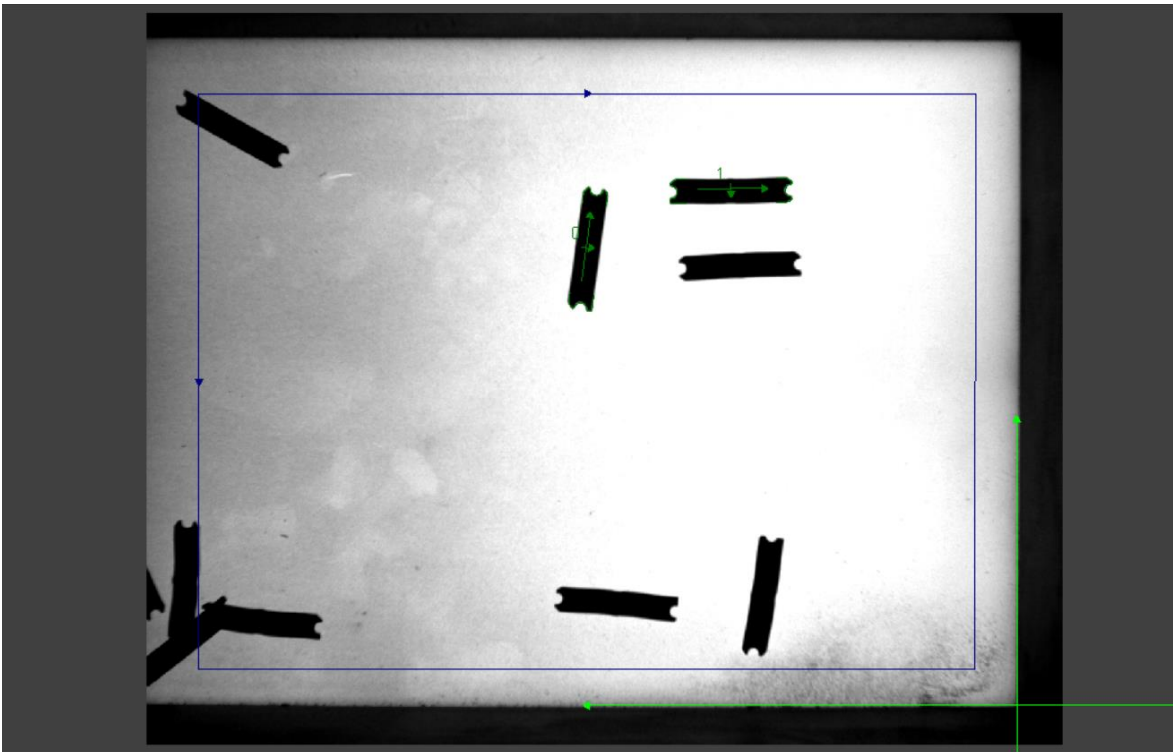
Gångjärnen byggdes ihop med två M10 bultar och muttrar. Designen har planerats så att det finns 3 mm insänkningar för muttrarna vilket underlättar sammanfogningen på grund av att man bara behöver en sexkantnyckel med storlek 5.

För fästet mellan lampan och konstruktionen så användes en M8 bult med mutter samt en M12 T-bult med mutter.

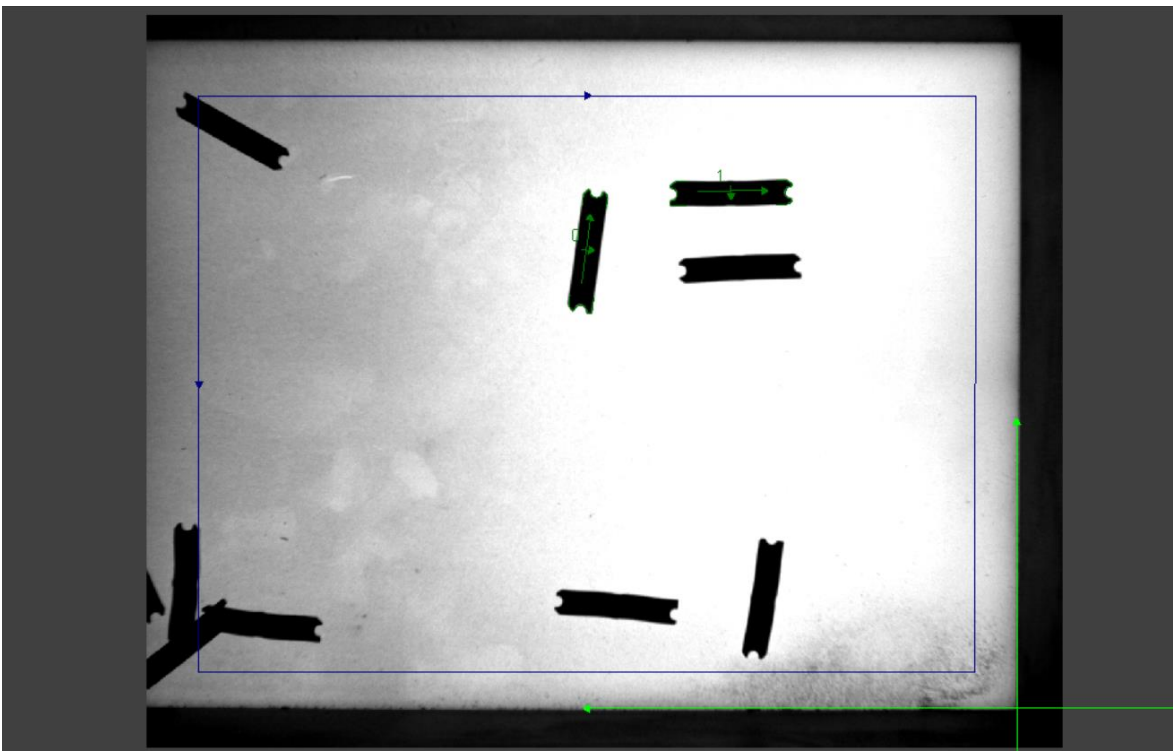


Figur 13. Färdigt byggd konstruktion

När LED-lampan tändes observerades kamerans bild via **Robot Studios** Integrated Vision flik för potentiella förbättring av bildkvalitet. Resultaten blev inte som förväntat. De genomförda testerna gav inga märkbara förändringar i bildkvaliteten vilket väcker frågan om orsaken till den uteblivna förbättringen.



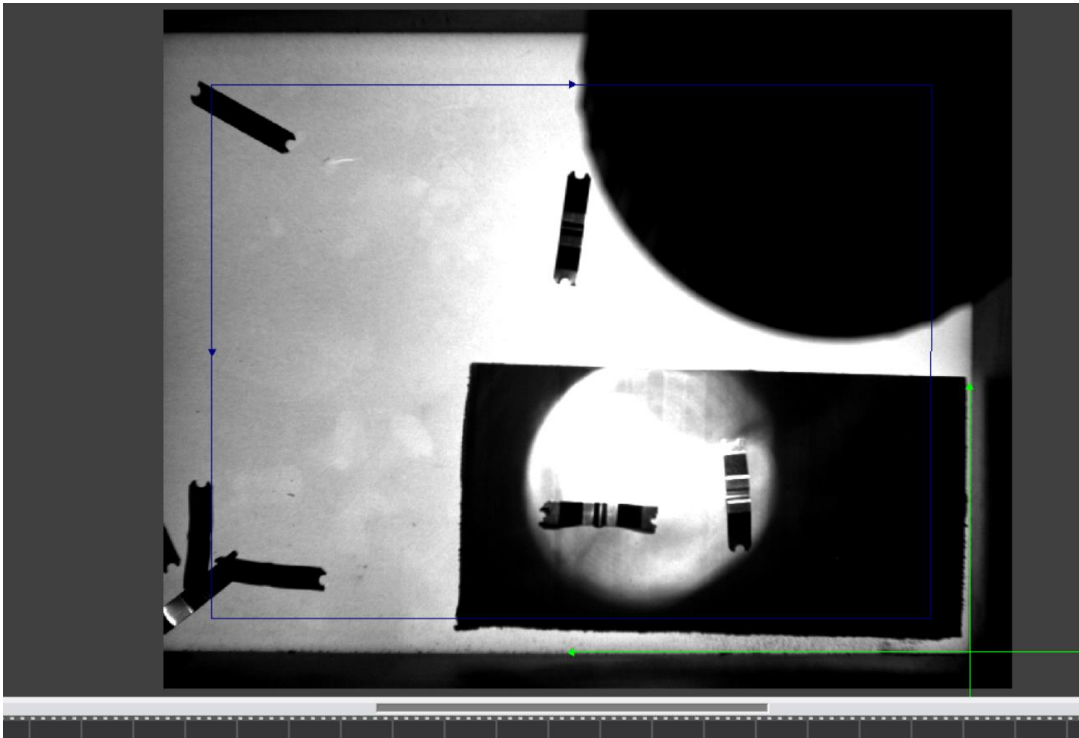
Figur 14. Fotografi på komponent utan LED- belysning.



Figur 15. Fotografi på komponent med LED-belysning.

Detta resultat indikerade att bildtagningen sannolikt sker med infrarött ljus från undersidan, vilket skulle förklara varför LED-lampans illumination inte påverkade

fotograferingen av komponenterna. Därför påbörjades en vidare undersökning för att bekräfta att infrarött ljus faktiskt används.



Figur 16. Fotograf på utfört test.

Idén med detta deltest var att ta reda på ifall det är infrarött ljus som används. Detta test utfördes med hjälp av två pappskivor som lades på matarenhetens botten. Sedan placerades komponenter på båda pappskivorna. LED-lampan sattes att lysa på den runda pappbiten och glödlampan att lysa på den fyrkantiga.

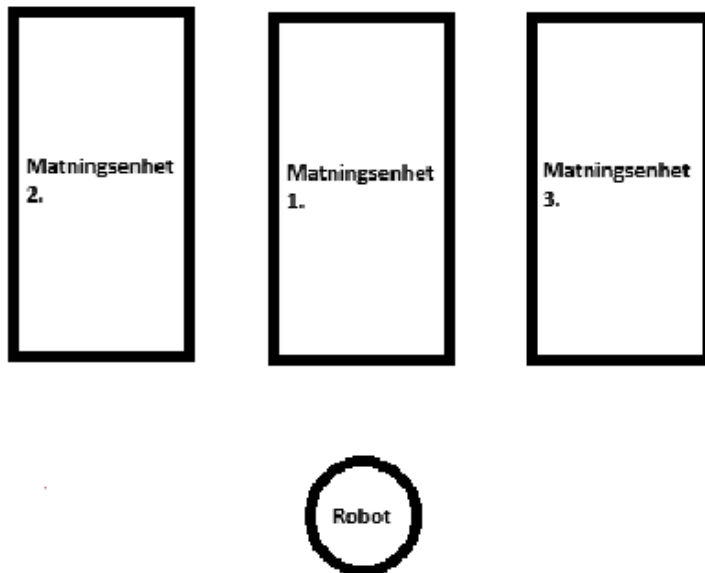
Resultatet av testet var förväntat, att komponenterna som ligger på den nedre pappbiten under glödlampans ljus syns och de som ligger på den övre biten med LED-belysning detekteras inte, vilket stärkte teorin om att komponenterna illumineras av infrarött ljus.

Trots att förbättringsförsöket med LED-lampa inte gav önskat resultat, gav det värdefull insikt i hur optisk identifiering fungerar i det befintliga systemet. Denna erfarenhet låg till grund för beslutet att gå vidare med digital simulering och teknisk analys för fortsatt optimeringsarbete.

Med detta resultat som botten så beslutades det att vidare undersöka funktionerna i Integrated Vision och hur man kan optimera bildkvalitén för att öka taktiden för roboten.

### 3.3.2 Test 1 Del 2. Optimering av belysning via mjukvara

En trådbunden Ethernet-förbindelse användes för att upprätta kommunikation med matningsenheten. Robotstudio och tilläggsprogrammet Intergrated Vision användes för att kommunicera med Cognex kameran.



Figur 17. Översiktritning på matningsenheterna.

Teori om hur tabellerna skall tolkas och vad som är betydelsefullt.

Högst uppe definieras exponeringstiden i **DO** och på rad 4 väljer man vilken enhet man använder samt vilken programkonfiguration.

	A	B	C	D	E	F	G
0	Image		exposure	8.000			
1							
2	Program						
3							
4	Feeder	1	1,000	Prog1	Prog2	Prog3	
5	ResultArrayFirstCell	B059		B059	B156	B238	
6	ResultArrayWidth	2		2	2	2	
7	ResultArrayHeight	11		11	6	6	
8							
9	Feeder 1 program	select		1,000			
10	calibration						
11							
12	Calib						
13							

Figur 18. Exempel 1 från Integrated Vision system som visar hur identifierade objekt presenteras i tabellform.

I mitten av bladet definieras följande modellen, sökområdet och acceptansgräns. Från denna del söker kameran parametrar för att kunna fastställa vilka delar är inom godkänd

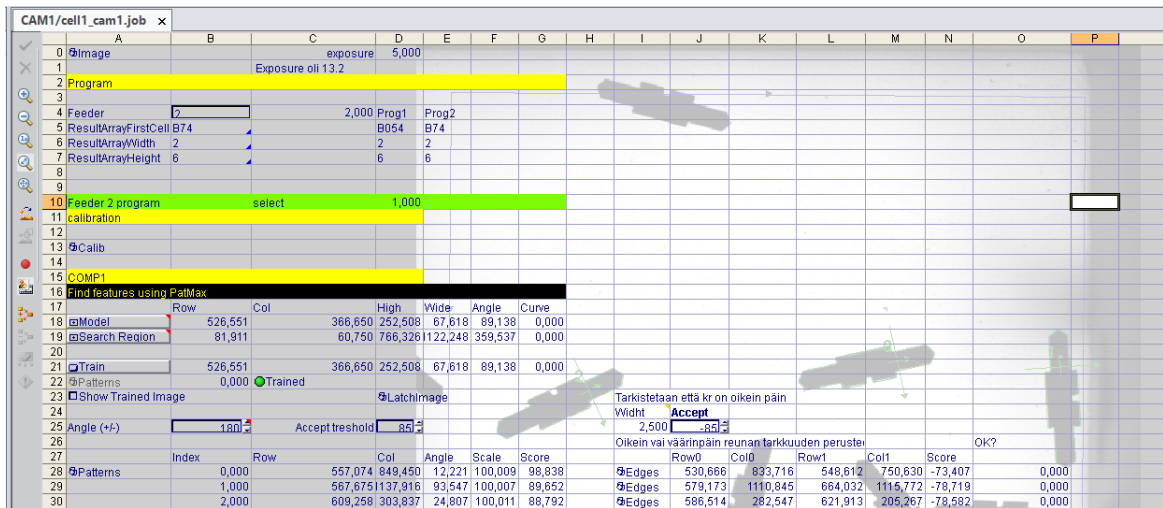
gräns. Den plockar informationen från rad 24 och 25 där det fastställs vilken är den maximala vinkeln komponenten får ligga i medsols och motsols. Informationen mellan rad 27 och 32 är där den processerar data som kommer ur bilden den tagit. I följande exempel ser man att enligt kolumn B28 till B32 har den räknat upp till 4.000 vilket betyder att den har hittat fem stycken komponenter. Sedan räknar den ut acceptanspoängen för varje komponent med hjälp av data från vinkel och skalfaktor baserat på referensmönstret. Till slut ser vi att den hitta fem men bara fyra stycken komponenter klarar acceptansnivån av 85.

14	COMP1 Tuote nolla kulmassa							
15	Find features using PatMax							
16		Row	Col	High	Wide	Angle	Curve	
17	Model	513,000	757,000	64,000	75,000	0,284	0,000	
18	Search Region	195,310	475,577	655,084	678,603	359,002	0,000	
19								
20	Train	513,000	757,000	64,000	75,000	359,534	0,000	
21	Patterns	1,000	Not Trained					
22	Show Trained Image			LatchImage				
23								
24	Angle Vastapäivään	30	Accept treshold	85				
25	Angle myötäpäivään	-20						
26								
27		Index	Row	Col	Angle	Scale	Score	Found
28	Patterns	0,000	317,352	760,577	-12,841	100,014	99,997	4,000
29		1,000	262,933	694,685	36,471	99,960	99,997	
30		2,000	635,739	1100,013	2,617	99,975	95,181	
31		3,000	595,403	1108,518	-25,178	100,011	87,383	
32		4,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR	0,000	
33								
34	Check part surroundings for clearance							
35								
36	PART1	Blobs	0,000	1,000				
37	PART1	Blobs	0,000	1,000				
38	PART1	Blobs	1,000	0,000				
39	PART1	Blobs	1,000	0,000				
40	#ERR	#ERR	0,000	0,000				

Figur 19. Exempel 2 från Integrated Vision system som visar hur identifierade objekt presenteras i tabellform.

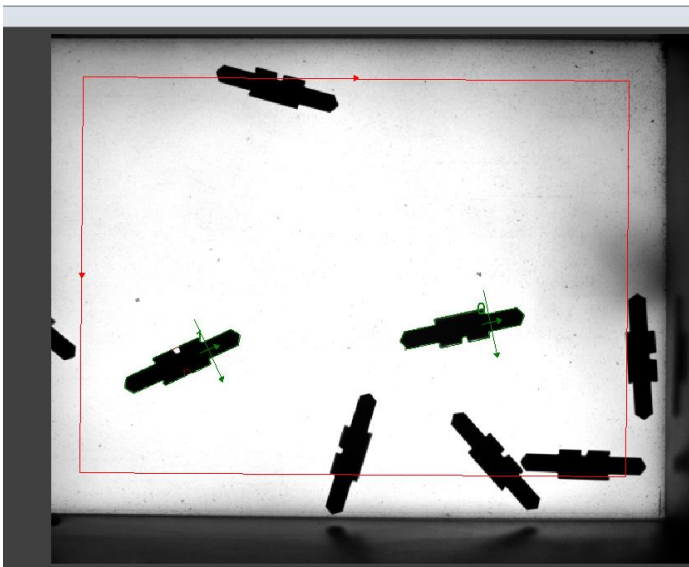
### Anyfeeder 1

I den initiala konfigurationen kan man på kolumn C28 till C30 att den bara funnit tre komponenter inom sökområdet och baserat på detta så ser vi att det finns flera som skulle kunna kännas igen.



Figur 20. Konfiguration för matningsenhet 1.

I nedanstående figur analyseras kamerans synfält, där ser man att den röda kvadraten är sökområdet och är betydligt mindre än ytan av matningsenheten. Detta är på grund av att roboten som plockar har restriktiv räckvidd men nuvarande konfigurationen är även för konservativ. I figuren ser man att på grund av det konservativa området så hittar kameran bara två godkända komponenter



Figur 21. Söksområdet för matningsenhet 1.

Efter att sökområdet uppdaterats har vi sju godkända exemplar som kameran känt igen vilket är en ökning på 133 % och är det önskade resultatet.

1200-103313 (Cell1R1) - RobotStudio

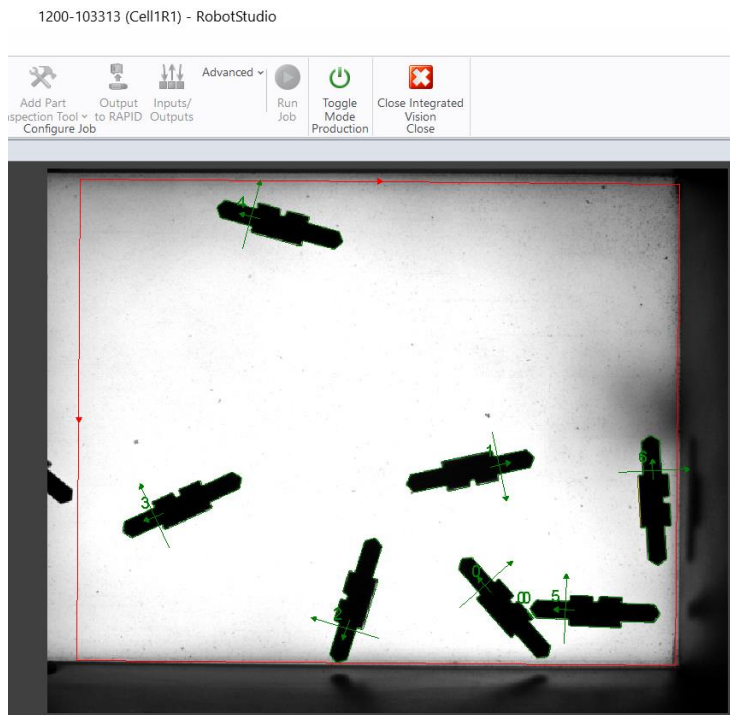
Controller RAPID Add-Ins Vision

Load Image Save Image Filmstrip Image Setup Image Calibrate Image Add Part Location Tool Add Part Inspection Tool Output to RAPID Inputs/Outputs Run Job Toggle Mode Production Close Integrated Vision Close

CAM1/cell1\_cam1.job x

Row	Col	High	Wide	Angle	Curve	Score	OK?
18	Model	526,551	366,650	252,508	67,618	89,138	0,000
19	Search Region	19,221	61,256	907,507	1128,740	359,537	0,000
21	Train	526,551	366,650	252,508	67,618	89,138	0,000
22	Patterns	0,000	783,550	822,862	131,679	100,009	99,253
28	Edges	810,436	807,380	874,023	863,784	-90,530	1,000
29	Edges	530,663	833,715	548,614	750,628	-73,407	0,000
30	Edges	863,365	582,476	782,184	617,678	-78,089	0,000
31	Edges	677,129	222,711	641,808	300,025	-80,305	1,000
32	Edges	119,164	384,767	141,999	466,643	-81,710	0,000
33	Edges	859,677	982,528	863,061	1067,458	-80,439	0,000
34	Edges	579,169	1110,845	664,027	1115,774	-78,594	0,000
35		7,000	#ERR	#ERR	#ERR	0,000	0,000
36		8,000	#ERR	#ERR	#ERR	0,000	0,000
37		9,000	#ERR	#ERR	#ERR	0,000	0,000

Figur 22. Den uppdaterade konfigurationen.



Figur 23. Det uppdaterade sökområdet för matningsenhet 1.

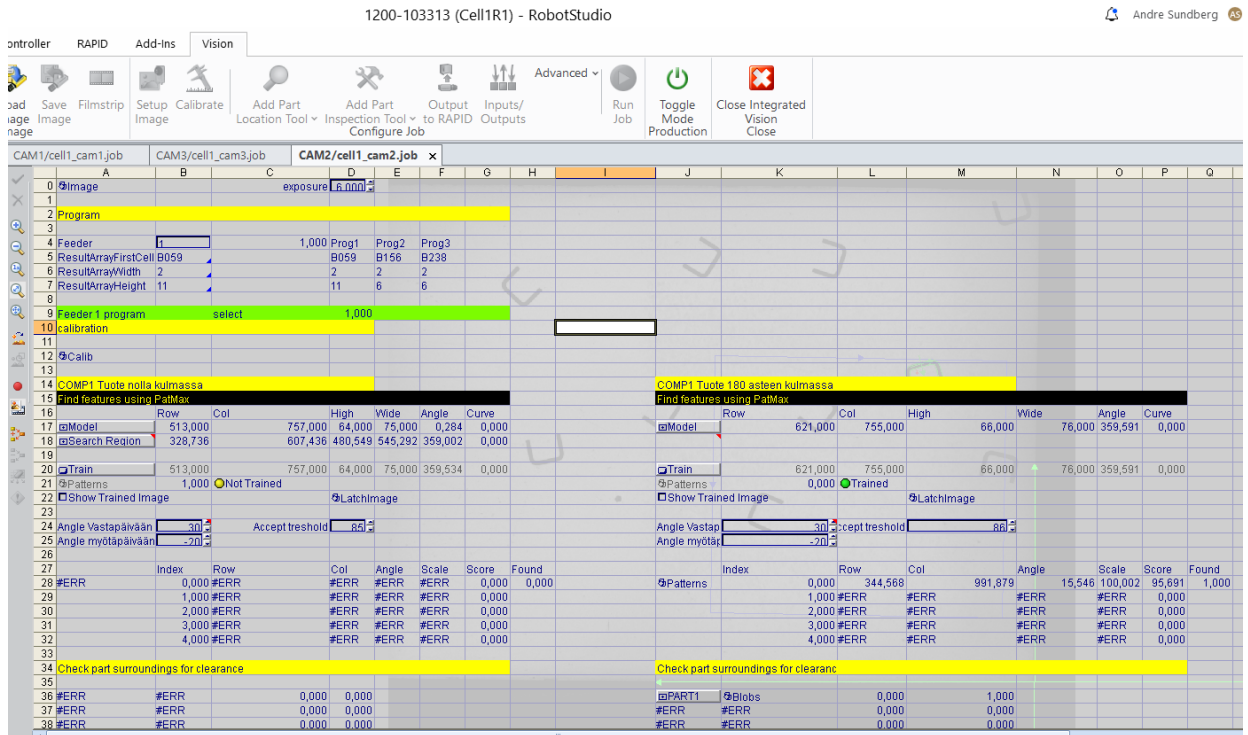
Som man kan se är sökningsområdet större än jämfört med Figur 17 vilket möjliggör en effektivare sökning av komponenter som sedan hjälper roboten att utföra sin uppgift effektivare.

## Anyfeeder 2

Den andra matningsenheten har ett väldigt konservativt sökområde på grund av att den befinner sig längst bort från robotens räckvidd. Detta begränsar ökningen av sökområdet. Konturen för komponenterna är aningen svag vilket man kan optimera med att öka kameraexponering. den nu varande exponeringen ligger på ett värde av 6.

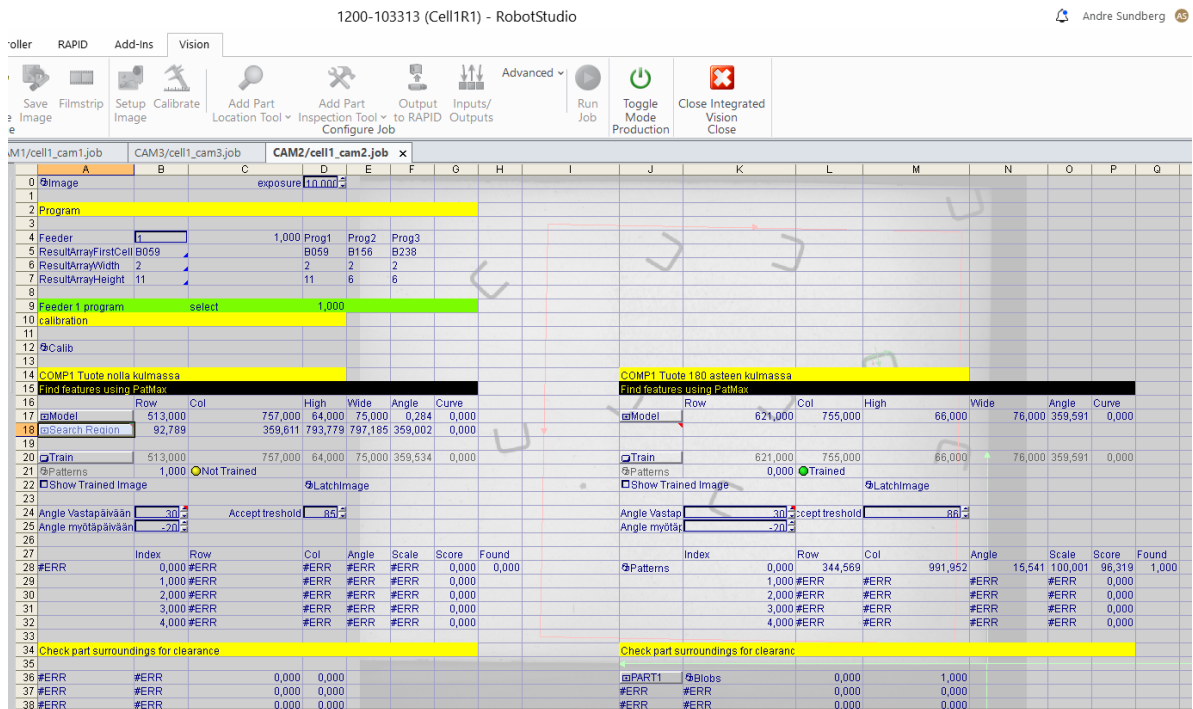


Figur 24. Sökområdet för matningsenhet 2.



Figur 25. Konfiguration för matningsenhet 2.

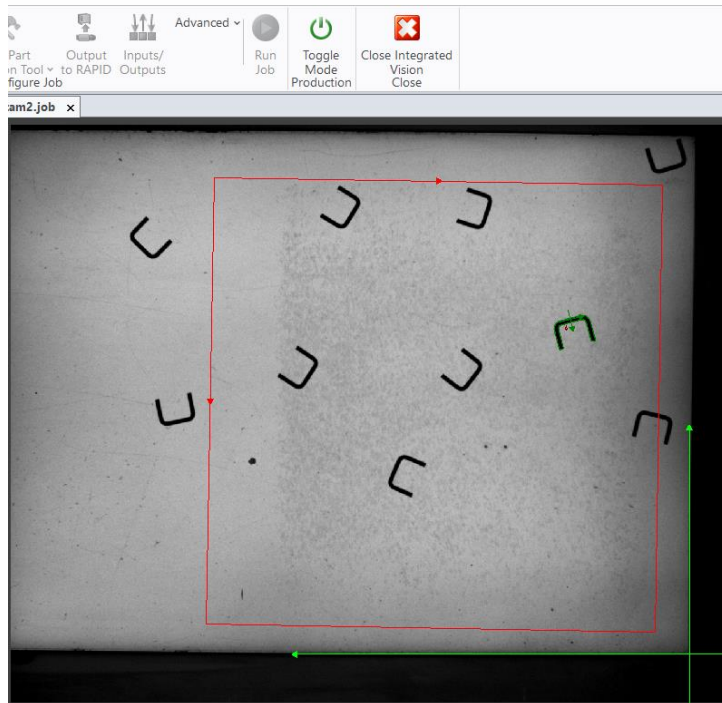
Nedanför är den uppdaterade konfigurationen där exponeringen samt sökområdet har optimerats varsamt med restriktionerna i baktanke.



Figur 26. Konfiguration för matningsenhet 2.

Efter att sökområdet förstorats ser man klart att det ryms flera hela delar i rutan men inte blir godkända av kameran. Detta beror på att komponenterna ligger i fel vinkel och det skiftar varje gång matningsenheten vibrerar mellan plockningarna.

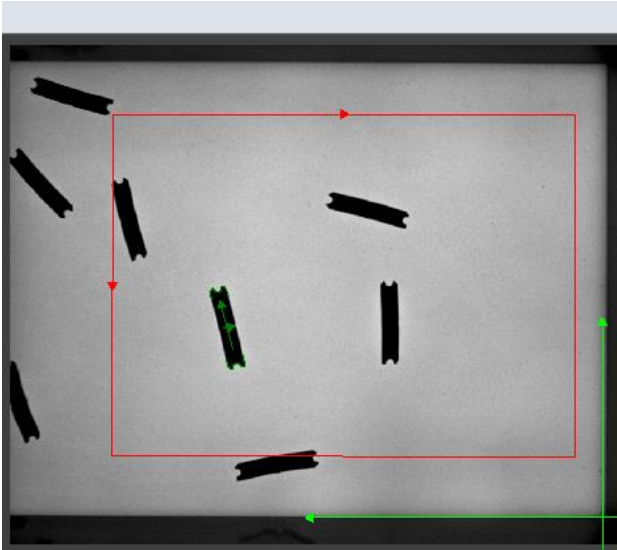
200-103313 (Cell1R1) - RobotStudio



Figur 27. Det uppdaterade sökområdet för matningsenhet 2.

### Anyfeeder 3

Bilden från matningsenhet 3 är lik figur 20. Denna har även ett litet sökområde på grund av att den befinner sig längst bort från roboten och måste konfigureras enligt robotens räckvidd. Exponeringen är godkänd men kan vara bättre.



Figur 28. Söksområde från matningsenhet 3.

Konfigurationen indikerar att exponeringen ligger på 4 vilket är lägre än de tidigare och söksområdet hittar bara ett exemplar som är godkänt.

1200-103313 (Cell1R1) - RobotStudio

Controller RAPID Add-Ins Vision

Load Image Save Image Filmstrip Setup Image Calibrate Image Add Part Location Tool Add Part Inspection Tool Output to RAPID Inputs/Outputs Run Job Toggle Mode Production Close

CAM1/cell1\_cam1.job CAM3/cell1\_cam3.job x

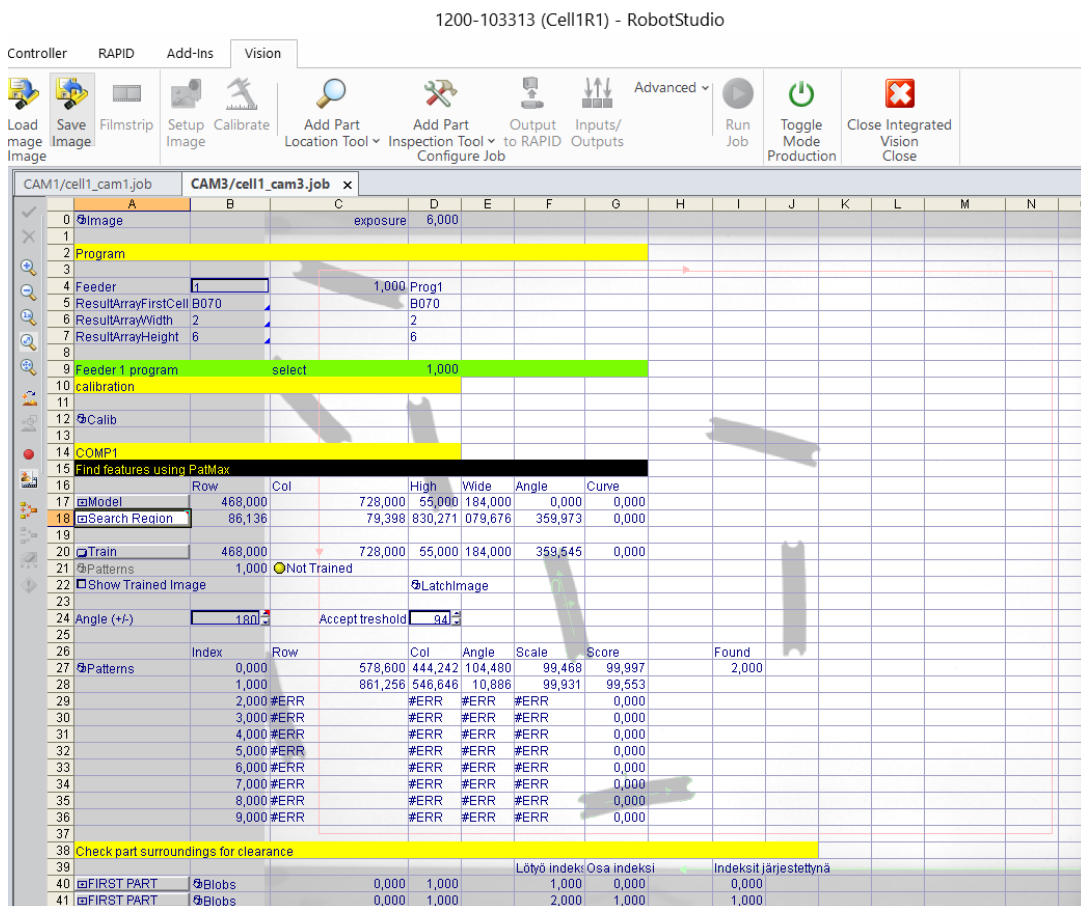
Row	Col	High	Wide	Angle	Curve
17	488,000	728,000	55,000	184,000	0,000
18	142,839	209,000	702,093	950,050	359,973
20	488,000	728,000	55,000	184,000	359,545
27	0,000	578,608	444,285	104,472	100,195
28	1,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
29	2,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
30	3,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
31	4,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
32	5,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
33	6,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
34	7,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
35	8,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR
36	9,000	#ERR	#ERR	#ERR	#ERR

40 FIRST PART @blobs 0,000 1,000 Lötyö indek: Osa indeksi 1,000 0,000 Indeksit järjestettyä 0,000

41 #ERR #ERR 0,000 0,000 1,000 1,000 #ERR

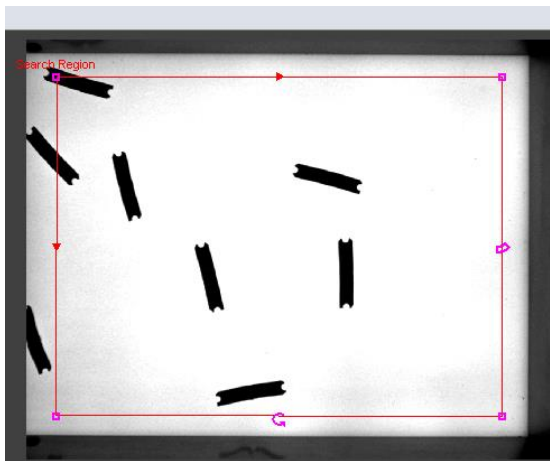
Figur 29. Konfiguration för matningsenhet 3.

Exponeringen höjdes med 50 % för att kvar behålla den skarpa bilden utan att överexponera bilden. När sökområdet förstörades så ser man från nedanstående bild att kameran har hittat två stycken godkända komponenter redo för att plockas.



Figur 30. Uppdaterade konfigurationen för matningsenhet 3.

Den uppdaterade exponeringen ger en väldigt klar kontur till komponenterna vilket hjälper kameran hitta produkter.



Figur 31. Uppdaterade sökområdet för matningsenheten 3.

Dessa optimeringar visade sig vara tydligt effektiva och bara med att utöka sökområdet samt justera kamerans exponering, så identifierar programmet flera komponenter vilket ökar takttiden på cellen och var det önskade slutresultatet.

### 3.3.3 Test 2. Gripverktyg

Det framgår i ([kap 3.2](#)) att det befintliga gripverktyget inte har en optimal form och dessutom uppvisar låg slitstyrka. Detta leder till produktionsproblem, exempelvis att roboten får ett otillräckligt grepp om komponenten. Vilket i sin tur resulterar i felaktig placering vid bearbetningsstationen och därmed omöjliggör bearbetningen. Problemet uppstår främst då greppytan slitits ned och inte bytts i tid, antingen på grund av att operatören missat eller inte uppmärksammat slitaget.

Som lösning har ett nytt gripverktyg utvecklats med materialet **Diran**, ett nylonbaserat filament med god slitstyrka och lämpliga mekaniska egenskaper. Gripverktyget har konstruerats för att passa exakt på den **Festo DHPS-16-A-gripper** som används på roboten i produktionslinjen. Den nya modellen är dessutom formoptimerad efter komponentens geometri för att säkerställa ett stabilt och tillförlitligt grepp.



Figur 32. Original gripverktyget



Figur 33. Förbättrade gripverktyget

Det nya gripverktyget monterades på roboten med hjälp av två skruvar samt två 3 mm centreringsringar.

Följande steg var att justera robotens plock-, angörings- och placeringspunkt med hjälp av den handhållna operatörspanelen som heter Flexpendant.

Det utfördes med hjälp av joggingfunktionen som ger användaren frihet att manuellt röra på alla roboten i X-, Y- och Z-led. Roboten kördes till den gamla plockkoordinaterna (P\_pick), där man med hjälp av joggingfunktionen finjusterade placeringen av gripverktygen och sedan sparade de önskade koordinaterna. Samma steg upprepades till placeringspunkten (P\_place) och sparades.

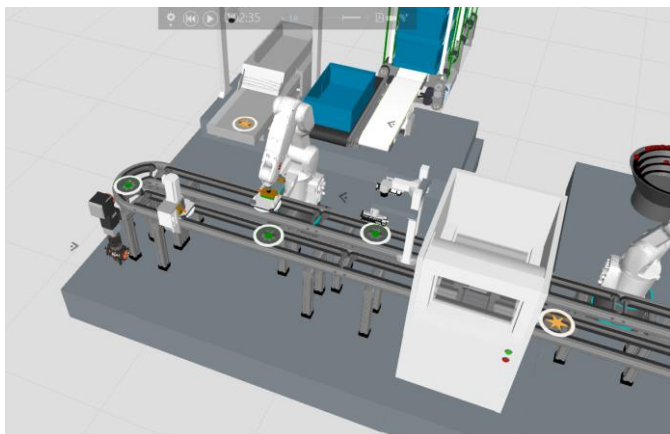
### 3.4 Simuleringsmodell

I denna del behandlas teoretiska konkreta förändringar med hjälp av simulering.

För att undvika att felaktiga produkter far rakt till spill så har det planerats ett teoretisk lösning för att minska på spill och öka på produktionsmängden.

Mellan cell fyra och tre har det planerats en reparationsstation för produkter som inte klarat av kontrollen vid kameran. Produkter som kameran inte godkänner beror oftast på

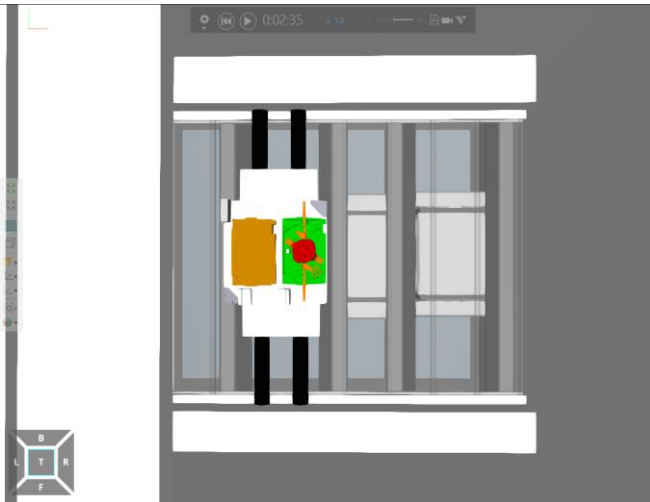
följande skäl, komponent som stälpt, komponent som saknas eller att en komponent sitter lite snett. På grund av detta skulle det öka på produktionsmängden och minska på spillmängden i längden ifall de med små fel skulle repareras direkt där av operatören och sedan med förflyttnings skenorna transporteras rakt över till bildjämförelse, i stället för att kasseras som orsakar arbete med frakt, putsning och återvinning.



Figur 34. Uppdaterade simulationen över cell 4 med reparationsstation



Figur 35. Reparationsstation, vy framifrån



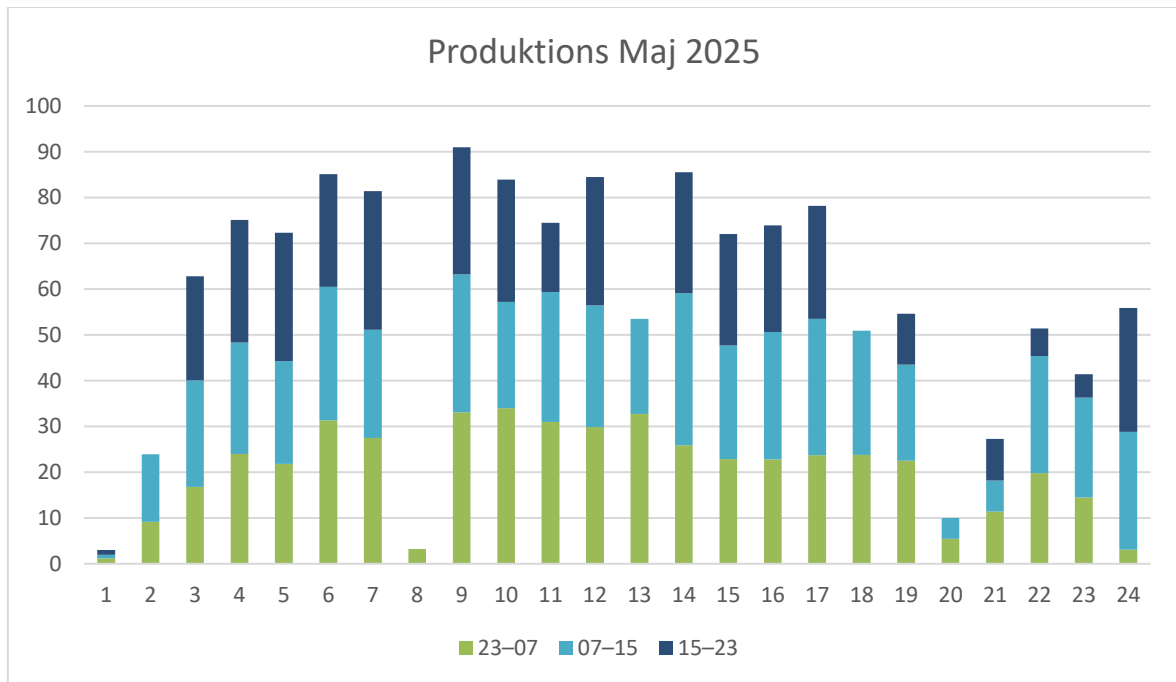
Figur 36. Reparationsstation, vy ovanifrån

## 4 Resultat

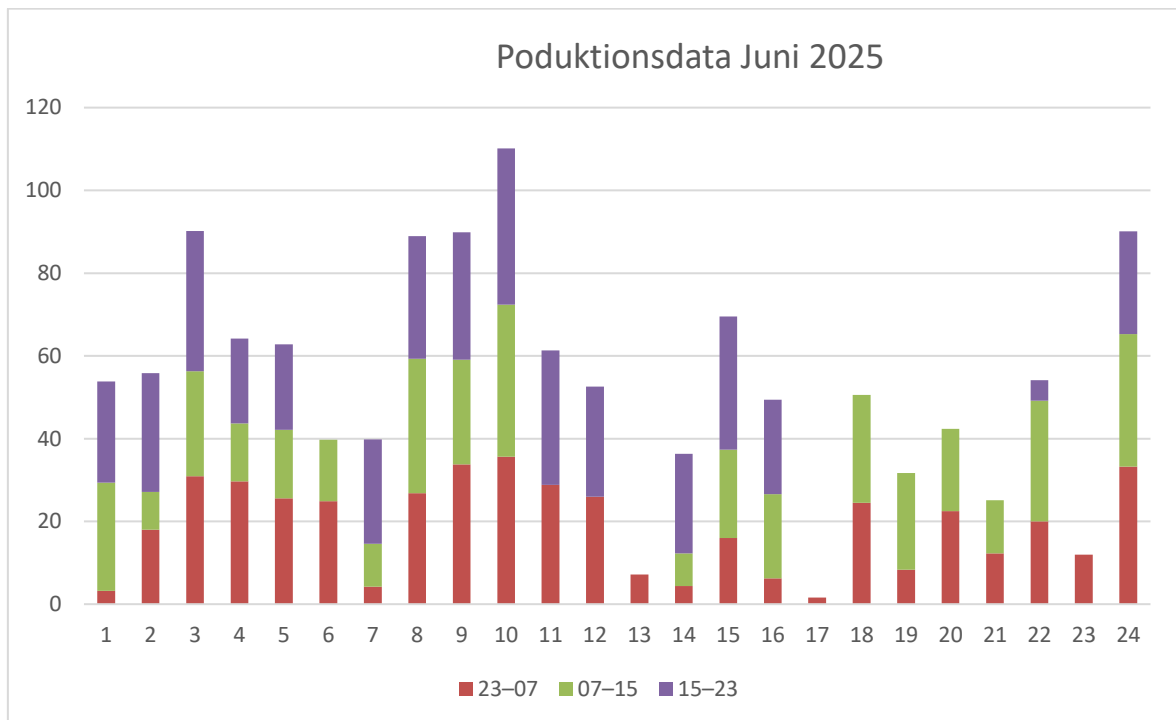
Föreliggande avsnitt redovisar och visualiserar data efter de konkret utförda uppdateringarna. De månader som används som referens är maj och juni, eftersom inga optimeringar genomfördes under mars och april, samtidigt som processen präglades av oregelbundna störningar som orsakade längre produktionsstopp.

Av konfidentialitetsskäl har produktionsdata normaliserats genom en linjär skalning. De redovisade värdena motsvarar därmed inte de faktiska absoluta nivåerna, men relationer och trender i datamaterialet har behållits.

## 4.1 Produktionsdata efter konkret utförda uppdateringar



Figur 37. Produktionsdata för Maj 2025



Figur 38. Produktionsdata för Juni 2025.

## 4.2 Beräkningar av medeltal baserat på produktionsdatat

Följande medeltal har räknats ut med följande formler.

$$\text{Medelproduktion per skift} = \frac{\text{Summa av alla värden per skift}}{\text{Antal dagar skiftet kördes}}$$

$$\text{Medelproduktion per skift} = \frac{\text{Summa av alla värden per skift}}{\text{Antal dagar skiftet kördes}}$$

**Maj** har produktionen varit i gång 24 dagar och produktionsindexet uppgick till 58,2

Nattskift = 19,1

Morgonskift = 21,3

Kvällsskift = 17,8

**Juni** har produktionen varit i gång 24 dagar och producerat en total volym på 53,8

Nattskift = 16

Morgonskift = 20

Kvällsskift = 17,9

Det finns ett utsatt produktionsmål motsvarande index 100 per dag. Med följande ekvation tar man reda på hur många procent processen ligger efter det utsatta målet.

$$\text{Skillnad i \%} = \left( \frac{\text{Medeltalet av produktionen per månad} - \text{Produktionsmålet}}{\text{Produktionsmålet}} \right) \times 100$$

maj ligger 42 % under produktionsmålet.

juni ligger 46 % under produktionsmålet.

## 5 Diskussion

I detta kapitel analyseras skillnaderna mellan data från [\(kap 2.7\)](#) och data från [\(kap 4.1\)](#) samt den procentuella ökningen av produktionsmängd efter utförda optimeringar.

## 5.1 Tolkning av resultat

Analysen av produktionsdata efter de genomförda förbättringarna visar en tydlig positiv utveckling. Under januari och februari uppgick den genomsnittliga produktionen till index 36,7 respektive 45,6. Detta innebär att produktionen låg 63,3 % respektive 54,4 % under målvärdet index 100.

Efter förbättringarna ökade produktionen till index 58,2 i maj och 53,8 i juli. Trots att dessa nivåer fortfarande ligger procentuellt vid 42 – 46 % under målvärdet 100, så är det en märkbar ökning jämfört med referensperioden. Resultaten tyder på att de genomförda åtgärderna bidragit till en mer effektiv hantering och en genomsnittlig ökning på 36,1%.

Det är samtidigt viktigt att betona att en direkt jämförelse mellan mätperioderna är komplex. Produktionslinjen påverkas av flera externa och svårkontrollerade faktorer, bland annat varierande materialkvalitet och skiftande bemanning. Materialet som matas in i processen uppvisar stora kvalitetsvariationer vilket i vissa fall kräver betydligt mer hantering än normalt. Därtill bemannas skiften av operatörer med olika erfarenhet och arbetssätt vilket påverkar både processtabilitet och förmåga att hantera störningar. Dessa faktorer innebär att produktionsvariationerna inte enbart kan kopplas till de införda förbättringarna.

Det nuvarande produktionsmålet index 100 per dag bör även värderas kritiskt. Under det aktuella året har denna nivå endast uppnåtts vid ett tiotal tillfällen vilket tyder på att målet är ambitiöst i förhållande till linjens tekniska och produktrelaterade förutsättningar. Detta förstärks med att produkten ursprungligen var avsedd för manuell montering och inte är utvecklad för att hanteras i en helautomatiserad process. Produktens komplexitet och variation gör automatiseringen mer störningskänslig än för en produkt designad specifikt för maskinell montering.

Sammantaget visar resultaten att de genomförda åtgärderna har skapat en positiv utveckling men att kapaciteten fortfarande begränsas av strukturella faktorer i både produkt och process. För att nå en nivå som närmar sig målsättningen krävs ytterligare åtgärder, borttagandet av flaskhalsen i cell 2, ökad processtabilitet, minskad skiftvariation i material och en mer realistisk anpassning av produktionsmålet utifrån linjens faktiska förutsättningar.

## 5.2 Metodens styrkor

Metoden som använts i detta arbete har flera tydliga styrkor som gjort analysen både tillförlitlig och relevant för den faktiska produktionen. En av de största styrkorna är att studien bygger på verkliga produktionsdata insamlade under flera månader. Det ger en mer rättvis bild av hur linjen faktiskt presterar i vardagen, med alla sina variationer mellan skift, veckor och olika produktionsförhållanden.

En annan styrka är kombinationen av siffror och praktisk förståelse. Genom att inte bara analysera data, utan också följa hur produktionen fungerar i den dagliga driften och ta del av operatörernas erfarenheter, går det att se både tekniska och organisatoriska orsaker bakom avvikelser. Detta gör analysen mer träffsäker och ger en bättre grund för att förstå var förbättringar faktiskt gör störst nytta.

Metoden är också tydlig genom sitt fokus på att jämföra läget före och efter förbättringarna. Det gör det möjligt att konkret se vilken effektåtgärderna haft, även om variationer i materialkvalitet och bemanning innebär att jämförelsen inte är helt exakt.

Slutligen är en av metodens största styrkor att den är väl anpassad till en industriell miljö. Arbetsättet tar hänsyn till de faktiska begränsningar som finns i produktionen, vilket gör att resultaten inte bara är teoretiskt intressanta utan också direkt användbara som stöd i verksamhetens fortsatta utveckling.

## 5.3 Hållbarhet och kostnader

Gripverktyget analyserades i [\(kap 3.2.3\)](#) och verktyget i fråga har varit konstruerat med fyra greppytor som var gjorda av gummi. Dessa applicerbara ytor kostar 7 euro var och i flesta fall blev att byta två gånger per vecka. Detta motsvarar 2912 euro per år och är en substantiell summa för en så liten komponent.

Det nya gripverktyget som framkallades av nylon med en 3D printer har en kostnad på 9,61 euro, och baserat på nedanstående data har det nya gripverktyget sparat in 1445

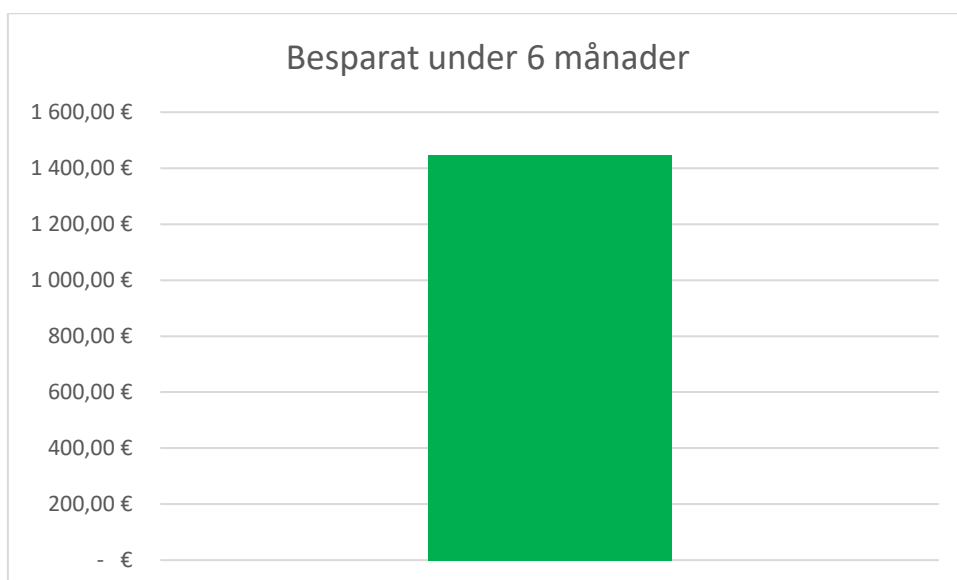
Pris för filament per kg	183,98	Filament i gram för ett par greppverktyg	52,22	Pris för nya greppverktygen	9,61 €
--------------------------	--------	------------------------------------------	-------	-----------------------------	--------

euro och 39 cent på 6 månader. Detta resultat räknas ut bara rakt av vad det kostar att köra processen 6 månader med gamla gripverktyget subtraherat priset av det nya på

grund av att verktyget inte har behövt bytas ut under dessa sex månader. Följande resultat visualiseras i nedanstående data.



Figur 39. Jämförelse av gripverktygens kostnader.



Figur 40. Data för besparingar gjort på grund av nya gripverktyget.

## 5.4 Förslag på fortsatt arbete

Utöver märkbara optimeringar som utförts, så finns det saker man kan vidareutveckla i framtiden. Som exempel skulle man kunna uppdatera simuleringsmodellen till en så kallad digital tvilling, vilket innebär att simuleringen är synkroniserad med den fysiska processen och i realtid uppdaterar samtidigt. Detta skulle möjliggöra styrning av process samt förändring av logik och robotkod på distans via Visual Components simuleringsverktyg.

Vibrationsskålen är beställd och skall inom framtiden monteras samt konfigureras. Detta moment hade med fördel kunnat ingå i arbetet, men kommer att genomföras under våren på grund av lång leveranstid och begränsad tillgänglig arbetstid.

Reparationsstationen som presenterades i [\(kap 3.4\)](#) skulle vara ett perfekt arbete för en magisteravhandling med tanke på arbetsmängden det skulle innefatta. Det skulle innehålla planering och konstruktion av det operativa utrymmet samt montering av pneumatiska ställdon och servomotorer. Vidare skulle arbetet innefatta konfigurering av plc logiken för lyft, positionerings och förflyttningsfunktioner i samverkan med transportörsystemet. Detta projekt skulle vara gynnsamt för båda parterna, på grund av att uppdragsgivaren skulle få en konstruktion som skulle hjälpa med materialspill och stärka processens hållbara utveckling och uppdragstagaren skulle få utmana sina ingenjörskunskaper.

Ett viktigt moment i denna process är fönsterplockningen och placeringen som skall moderniseras. Under arbetets gång har det planerats och 3D printats en prototyp som skall testas och vidare utvecklas vid behov. Samtidigt måste såklart robotens rörelse samt plock och placeringspunkter uppdateras. Denna del exkluderas från arbetet även på grund av tidsbrist och driftstörningar men kommer inom när framtid realiseras.

## 6 Källförteckning

- ABB AB. (2004). *Operating manual IRC5 with FlexPendant*. Hämtat från <https://icdn.tradew.com/file/201606/1569362/pdf/7083424.pdf>
- ABB AB. (2018). *Application manual Integrated Vision*. Hämtat från <https://library.e.abb.com/public/ce9bb832ca204493a5f5a18053c031f9/3HAC044251%20AM%20Integrated%20Vision%20IRC5-en.pdf?x-sign=7aoIR5ruxFhmaa0qlPEMwzRBT1q8XaMVJr3OxsOn8csKfrz0n43sfiydpdL0Jnnq>
- ABB AB. (2019). *Operating manual RobotStudio*. ABB AB. Hämtat från <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC032104-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB AB. (2025). *Switch-disconnectors-Hight Performance, Compact Solution*. Vaasa. Hämtat från [https://new.abb.com/docs/librariesprovider22/default-document-library/12\\_switch-disconnectors-\(1\).pdf?sfvrsn=44c6c60a\\_0](https://new.abb.com/docs/librariesprovider22/default-document-library/12_switch-disconnectors-(1).pdf?sfvrsn=44c6c60a_0)
- Autodesk. (2025). *autodesk.com*. Hämtat från <https://www.autodesk.com/se/products/fusion-360/overview>
- Dekier, Ł. (2012). The origins and Evolution of Lean Management System. *Journal of International Studies*, 8. doi:10.14254/2071-8330.2012/5-1/4
- FESTO. (2025). *Parallel gripper DHPS*. Hämtat från [https://www.festo.com/media/catalog/204231\\_documentation.pdf](https://www.festo.com/media/catalog/204231_documentation.pdf)
- Iriondo Pascual, A. (2023). *Simulation-based-multi-objective optimization of productivity and worker well-being*. Skövde: University of Skövde. Hämtat från <https://his.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1811968&dswid=1061>
- Lean Enterprise Institute. (u.d.). *lean.org*. Hämtat från <https://www.lean.org/explore-lean/a-brief-history-of-lean/>
- Nabil, D. H., Rahman, H., Chowdhury, A. H., & Menezes, B. C. (2023). Managing supply chain performance using a real time Mirosoft Power BI dashboard by action design research (ADR) method. *Cogent Engineering*, 20. doi:10.1080/23311916.2023.2257924

- Omron. (den 19 04 2025). *Automation Software Sysmac Studio Version 1*. OMRON Corporation. Hämtat från <https://edata.omron.com.au/eData/NJ/W504-E1-35.pdf>
- Prusa Reaserch. (2025). *Prusa-core-one-kit-assembly*. Hämtat från [https://help.prusa3d.com/wp-content/uploads/generated/prusa-core-one-kit-assembly\\_2251\\_en\\_2025-12-11.pdf](https://help.prusa3d.com/wp-content/uploads/generated/prusa-core-one-kit-assembly_2251_en_2025-12-11.pdf)
- Prusa Research. (2025). *Prusa3d.com*. Hämtat från [https://www.prusa3d.com/product/prusa-core-one/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=EN-Nordics\\_Search\\_Text\\_Brand&utm\\_id=21777919388&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=21777919388&gbraid=0AAAAADkiZoOaF0\\_wVjK3Q-nHxn46uXP3p&gclid=CjwKCAiA3fnJBhAgEiwAyqmY5](https://www.prusa3d.com/product/prusa-core-one/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=EN-Nordics_Search_Text_Brand&utm_id=21777919388&gad_source=1&gad_campaignid=21777919388&gbraid=0AAAAADkiZoOaF0_wVjK3Q-nHxn46uXP3p&gclid=CjwKCAiA3fnJBhAgEiwAyqmY5)
- Shih, R. H. (2018). *Parametric Modeling with Autodesk Fusion 360*. Hämtat från <https://static.sdcpublications.com/pdfsample/978-1-63057-055-2-2.pdf>
- Visual Components. (den 02 05 2025). *Basics of Visual Components*. Visual Components. Hämtat från [VisualComponents.com: https://academy.visualcomponents.com/app/uploads/2023/02/basics-of-visual-components--23-02-2022\\_v2.pdf](https://academy.visualcomponents.com/app/uploads/2023/02/basics-of-visual-components--23-02-2022_v2.pdf)
- Visual Components. (den 20 04 2025). *Visualcomponents.com*. Hämtat från <https://www.visualcomponents.com/>