

Lösning för bemanningslös bearbetning med lönsamhetskalkyl

Elias Enlund

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Maskin- och produktionsteknik

Vasa 19.5.2025

EXAMENSARBETE

Författare: Elias Enlund
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktning: Drift- och energiteknik
Handledare: Jonas Grankull, Jarno Laaksonen, Tobias Ekfors

Titel: Lösning för bemanningslös bearbetning med lönsamhetskalkyl

Datum: 19.5.2025

Sidantal: 24

Abstrakt

Detta examensarbete har gjorts åt Botnia Bolts produktionsenhet i Kristinestad.

Syftet med arbetet var att planera en lösning för bearbetning under de timmar inga maskinoperatörer är på plats. Lönsamheten och återbetalningstiden för investeringen undersöktes med investeringskalkyler. Målsättningen för uppgiften var att fastställa om bemanningslös bearbetning skulle vara lönsam åt företaget fastän produktionen är varierande och har ett brett sortiment.

Arbetet utfördes genom att undersöka alternativa arbeten som skulle bearbetas i maskinen. Maskiner och utrustning har undersökts genom företagsbesök, maskinutställning och diskussioner med försäljare. Teorier om ekonomi och olika automationslösningar för fräsmaskiner användes, och en kravspecificering skapades för att komma fram till ett resultat.

Resultatet innehåller kalkyl om återbetalningstid och en lönsamhetskalkyl. Kalkylernas kalkylränta har fastställts genom att jämföra med maskiner som redan finns på företaget för att det på förhand är svårt att fastställa den riktiga kalkylräntan. Förutom bearbetningsmaskinen och maskintilläggen presenteras också utrustning som ökar på driftsäkerheten som är en viktig del av bemanningslös bearbetning.

Språk: svenska

Nyckelord: investeringskalkyl, automation

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Elias Enlund
Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Käyttö- ja energiatekniikka
Ohjaajat: Jonas Grankull, Jarno Laaksonen, Tobias Ekfors

Nimike: Miehitämätön koneistusratkaisu kannattavuuslaskelmalla

Päivämäärä: 19.5.2025

Sivumäärä: 24

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on suoritettu Botnia Boltin tuotantoyksikölle Kristiinankaupungissa.

Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella ratkaisu niille koneistuksen tunneille kun koneistajia ei ole paikalla. Sijoituksen kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa tutkittiin sijoituslaskelmilla. Tavoitteena oli selvittää jos miehitämätön koneistus olisi yritykselle kannattavaa vaikka tuotannossa on laaja valikoima.

Tehtävä suoritettiin tutkimalla vaihtoehtoisia komponentteja, jota uudessa koneessa voisi koneistaa. Koneita ja tarvikkeita on tutkittu yritysvierailulla, konenäyttelyissä ja keskustelemalla myyjien kanssa. Taloustieteen teorioita ja erilaisia automaattioratkaisuja jyrsinkoneille käytettiin, ja laadittiin vaatimusmäärittely lopputuloksen saavuttamiseksi.

Opinnäytteen tulos sisältää laskelman sekä kannattavuudesta että takaisinmaksuajasta. Laskelmien laskentakorko on määritetty vertaamalla yrityksessä oleviin koneisiin, koska oikeaa laskentakorkoa on vaikea määrittää etukäteen. Työstökoneen ja koneen optioiden lisäksi esitellään myös laitteita, jotka parantavat käyttövarmuutta, mikä on olennainen osa miehitämätöntä koneistusta.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: sijoituslaskelma, automaatio

BACHELOR'S THESIS

Author: Elias Enlund
Degree Programme: Industrial Management and Engineering, Vaasa
Specialisation: Option- and Energy Technology
Supervisors: Jonas Grankull, Jarno Laaksonen, Tobias Ekfors

Title: Solution for Unmanned Manufacturing with Profitability Analysis

Date: 19.5.2025

Number of pages: 24

Abstract

This thesis was carried out for Botnia Bolts manufacturing unit in Kristinestad.

The purpose of this thesis was to design a solution for machining during hours when no machine operators are present. The profitability and payback period of the investment were analysed using investment calculations. The objective of the task was to determine whether operator-free machining would be profitable for the company, despite a varied production and a wide product range.

The task was conducted by identifying alternative workpieces that had the possibility of being machined during unmanned hours. Machines and equipment were investigated through company visits, machine exhibitions and discussions with suppliers. Theoretical frameworks in economics and various automation solutions for milling machines were used, and a requirement specification was developed to reach a conclusion.

The results include a payback period calculation and a profitability analysis. The discount rate used in the calculations was determined by comparing it with machines already in use by the company, as it is difficult to establish the exact rate in advance. In addition to the machine and its accessories, equipment that improves operational reliability is also presented as it is an important aspect of unmanned machining.

Language: Swedish

Key words: Investment analysis, Automation

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte och målsättningar.....	1
1.3	Avgränsningar.....	1
2	Ekonomisk teori.....	2
2.1	Vad är en investering?	2
2.2	Investeringskalkyl	2
2.3	Kalkylränta	2
2.4	Diskontering	3
2.5	Payback - metoden.....	3
2.6	Nuvärdesmetoden	3
2.7	Exempel på investeringskalkylerna	4
2.7.1	Exempel för payback – metoden.....	5
2.7.2	Exempel för nuvärdesmetoden.....	5
3	Maskinell bearbetning.....	6
3.1	Krafter från bearbetningsverktyget	6
3.2	Olika fräsmaskiner	7
3.3	Axelantal på fräsmaskiner.....	8
3.4	Automationslösningar för fräsmaskiner	10
3.4.1	Robot.....	10
3.4.2	Robotverktyg	11
3.4.3	Verktygsväxlare	11
3.4.4	Palettmagasin	12
3.5	Kontroll av bearbetningsverktyg.....	12
3.6	Driftsäkerhet	14
3.6.1	Funktionssäkerhet.....	14
3.6.2	Underhållsmässighet	14
4	Metoder.....	15
4.1	Ekonomiska delen	15
4.2	Automations delen	15
5	Kravspecificering.....	16
6	Resultat	17
6.1	Maskinval.....	17
6.2	Fastsättning av arbetsstycke.....	18
6.3	Verktygs kontroll	19
6.4	Mätkontroll.....	20

6.5	Robot val	20
6.6	Lösamhets och återbetalnings kalkyler.....	21
7	Resultatdiskussion.....	22
8	Förslag till fortsatt arbete	23
9	Diskussion.....	23
10	Litteraturförteckning.....	24

Förkortningar

n	Antalet år
r	Kalkylränta
d	Skärdjup [mm]
f_t	Matning [mm/tand]
n	Antal skär i verktyget
kW_s	Effekt vid spindeln [kW]
P	Enhets effekt [kW/cm ³ /min]
Q	Material avlägsnings hastighet [cm ³ /min]
V_c	Skärhastighet [m/min]
F_c	Skärkraft [N]
w	Skärbredden [mm]

1 Inledning

Detta examensarbete har blivit utfört åt produktionsenheten på Botnia Bolt i Kristinestad. Företaget har redan tidigare funderat på att investera i en automatiserad CNC-maskin till produktionen för att öka på drifttiden när operatörer inte är på plats. En stor osäkerhet inom ämnet är lönsamheten eftersom produktionsserierna ofta är ganska korta och har ett brett sortiment. Att investera i en bearbetningsmaskin som tar vara på obemannade timmar skulle öppna dörrar till arbeten med långa serier till ett konkurrenskraftigt pris.

1.1 Bakgrund

Botnia Bolts produktionsenhet tillverkar komponenter för bland annat maskinbyggnadsindustrin, skogs- och jordbruk samt påbyggnadsbranschen. Företaget är växande och behöver ständigt uppdatera sin maskinpark för att upprätthålla sin konkurrenskraft och flexibilitet inom skärande bearbetning. Med en automatiserad bearbetningsmaskin och en robotcell skulle företaget få mera erfarenheter av automation, samt för framtiden en maskin som har kapacitet att tillverka nya produkter.

1.2 Syfte och målsättningar

Syftet med arbetet var att undersöka en fräsmaskin och komponenter som klarar av att utföra bearbetning under tider när inga operatörer är tillgängliga, fastän produktionsserierna ofta är korta. Till arbetet tillhör också en kalkyl som visar om investeringen är lönsam, samt en kalkyl om återbetalningstid. Målsättningen med arbetet var att undersöka vad som krävs för att man ska kunna utnyttja de timmarna på dygnet som maskinoperatörer inte är tillgängliga, och få fram kostnader som tillkommer med lösningen.

1.3 Avgränsningar

I detta arbete har man koncentrerats på att få fram en lösning för att kunna utföra skärande bearbetning för tid som inte maskinoperatörer är på plats. Till arbetet hör också investeringskalkyler som visar lönsamheten för en ny investering, samt en kalkyl för återbetalningstid. Priser för komponenter har inte jämförts mellan olika tillverkare, och arbetet avgränsas till en lösning för bemanningslös bearbetning.

2 Ekonomisk teori

I det här kapitlet kommer teori behandlas som behövs för att utföra undersökningen för den ekonomiska delen för arbetet. Teorin innehåller information om investeringsbegrepp och formler som används för att utföra investeringskalkylerna, samt exempel på utförandet av kalkylerna.

2.1 Vad är en investering?

Tanken med investering är att man gör en satsning som förväntas få ett ökat värde i framtiden. En investering kan vara av olika former så som expansionsinvestering eller nyinvestering, som betyder att man ökar på kapaciteten. En annan form av investeringar är rationaliseringsinvestering som syftar på att sänka kostnader genom automatisering. Den tidpunkten som en investering görs är viktig. Från den tidpunkt som en investering görs tillkommer konsekvenser som sträcker sig över en lång tidsperiod framåt eftersom marknaden och konkurrensen konstant ändras. (Andersson, 2008, ss. 293-294).

2.2 Investeringskalkyl

Investeringskalkyler kan definieras som kalkyler där inbetalningar och utbetalningar uppstår kontinuerligt. För att få en pålitlig kalkyl bör man sätta tid på att fundera över inbetalningarna, eftersom de är endast uppskattningsbara och har därför en stor osäkerhet, men är avgörande för investeringens lönsamhet. Alltså i en investeringskalkyl fokuserar man på betalningsströmmar men också den tidpunkt som de inträffar. Användningen för dessa kalkyler är att få riktgivande linjer på investeringens lönsamhet och är endast en liten del av hela investeringsprocessen. (Andersson, 2008, ss. 293-295).

2.3 Kalkylränta

För att kunna utföra en investeringskalkyl behövs en kalkylränta fastställas. En kalkylränta ska motsvara avkastningskravet på kapital som används för en investering. Kalkylräntan ska gälla för investeringens hela livslängd, som gör det svårt att slå fast den rätta kalkylräntan i förväg. För att få fram en pålitlig kalkylränta kan man utgå från kapital som redan finns investerat på företaget och räkna ut den årliga avkastningen. En kalkylränta ligger oftast mellan 8–12 %. (Andersson, 2008, ss. 296-297).

2.4 Diskontering

För att kunna jämföra in och utbetalningarna som sker vid olika tidpunkter kan man använda sig av diskontering. Med diskontering menas att man förflyttar in och utbetalningarna i tiden. Detta kan göras med tabellerade värden, eller beräknas med formler. Formlerna är beroende av om diskonteringen görs framåt eller bakåt i tiden, samt investeringens livslängd och kalkylränta. (Andersson, 2008, ss. 297-299).

2.5 Payback - metoden

Payback - metoden är den enklaste och den mest använda metoden för investeringskalkylering. Metoden kan användas som enda kalkylmetod, eller som ett filtreringsinstrument för olika investeringsalternativ. Payback - metoden går ut på att kalkylera grundinvesteringens återbetalningstid med inbetalningsöverskott, och mäter återbetalningstiden för investeringen. Kalkyleringen kan utföras med formel (1). Betalningar som inträffar efter återbetalningstiden tas inte med i kalkyleringen. Enligt metoden är den investering som snabbast har återbetalt sig den förmånligaste och mest lönsamma. Metoden tar inte hänsyn till tidsvärdet för olika belopp eller ränteöverbäganden som gör den till en likviditetsinriktad metod. Exempel på kalkylering finns i kapitel 2.7. (Andersson, 2008, ss. 300-301).

2.6 Nuvärdesmetoden

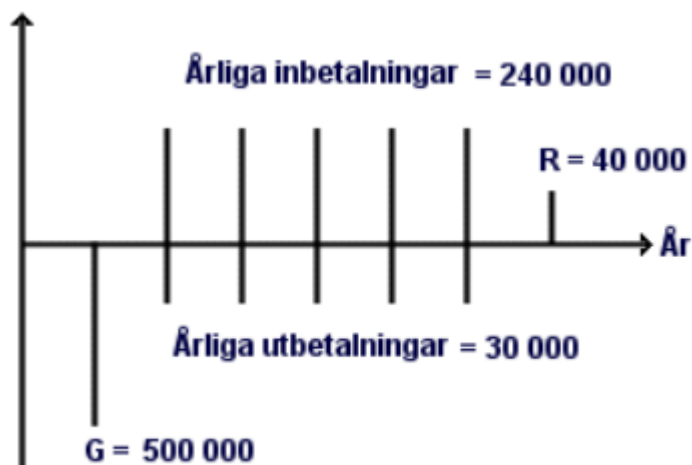
Nuvärdesmetoden används för att få reda på en investeringens lönsamhet. Metoden går ut på att diskontera betalningsströmmarna bakåt i tiden till tidpunkten 0, som är den tidpunkt när grundinvesteringen utförs, och kallas då nuvärde. Diskonteringen kan utföras med formlerna 2 och 3 för att få en diskonteringsfaktor och sedan multiplicera diskonteringsfaktorn med de relevanta in och utbetalningarna. Formeln för nuvärdessumman kan användas när flera av betalningsströmmarna är lika stora och är uppkommande under investeringens livslängd. Om betalningarna är av olika belopp över investeringens livslängd användes formeln för nuvärdesfaktorn för att utföra diskonteringen, och alla belopp diskonteras skilt för sig. När alla in och utbetalningar är diskonterade, beräknas nuvärdet genom att subtrahera summan diskonterade inbetalningar med summan diskonterade utbetalningar.

Om resultatet av denna kalkyl är positivt betyder det att investeringen avkastar mera än kalkylräntan som använts för beräkningen. Finns det konkurrens mellan flera investeringsalternativ, kan metoden användas för att se vilken av investeringarna har bättre lönsamhet. Exempel på kalkylering finns i kapitel 2.7. (Andersson, 2008, ss. 301-304; Greve, 2009).

2.7 Exempel på investeringskalkylerna

I detta kapitel kommer exempelkalkyleringar utföras för både payback och nuvärdesmetoden. Båda metoderna använder sig av samma utgångsvärden för beräkningarna.

Ett företag ska investera i en ny maskin. Grundinvesteringen kommer att kosta 500 000 € och innehåller kostnader för maskin, integrering och utbildning. Inbetalningarna för varje år uppskattas till 240 000 € och underhållskostnaderna till 30 000 € som betyder att inbetalningsöverskottet blir 210 000 €. Maskinens ekonomiska livslängd är 5 år varefter maskinen monteras ner och uppskattas ha ett restvärde på 40 000 €. Kalkylräntan uppskattas till 10 % för investeringen.



Figur 1. Visar beloppen för exemplet.

2.7.1 Exempel för payback - metoden

Återbetalningstiden enligt payback - metoden blir då $500\,000\text{ €} / 210\,000\text{ €}$ som blir 2,4 år avrundat. Det betyder att investeringen är lönsam eftersom den ekonomiska livslängden är 5 år medan återbetalningstiden är 2,4 år. (Se formel 1).

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Grundinvestering}}{\text{Årliga inbetalningsöverskott}} \quad (1)$$

2.7.2 Exempel för nuvärdesmetoden

För detta exempel blir nuvärdesumman 3,791 och nuvärdesfaktorn 0,6209 enligt formeln 3 och 4 då maskinens ekonomiska livslängd är 5 år och kalkylräntan är 10 %. Då fortsätts kalkyleringen med diskontering som kan uttryckas enligt följande:

$$-500000\text{€} + 240000\text{€} \times 3,791 - 30000\text{€} \times 3,791 + 40000\text{€} \times 0,6209 = 320946\text{€}$$

Eftersom kalkylen av nuvärdet blev positivt betyder det att investeringen avkastar mera än kalkylräntan och är därmed lönsam.

$$\text{Nuvärdesumma} = \frac{1-(1+r)^{-n}}{r} \quad (2)$$

$$\text{Nuvärdesfaktorn} = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (3)$$

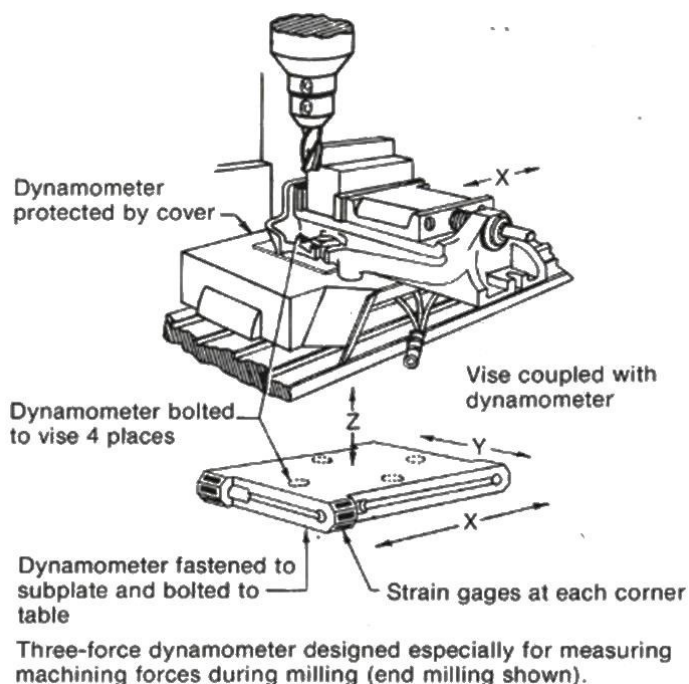
3 Maskinell bearbetning

Syftet med att implementera automation i en produktion är att öka på maskinanvändningsgraden och lönsamheten. Automatisering kan användas och utnyttjas på olika sätt. I kapitlet om maskinell bearbetning kommer undersökas en teori om skärkraft och hur man får en bra driftsäkerhet för att på ett säkert sätt kunna utföra bemanningslös bearbetning. Kapitlet innehåller också information som behövs för att kunna välja och dimensionera komponenter för bemanningslös bearbetning.

3.1 Krafter från bearbetningsverktyget

Vid dimensionering av festsättningsutrustning behöver man avse på att klämkraften är tillräcklig och arbetsstycket hålls stilla under bearbetningen. Man behöver också fundera på storleken av fastspänningselementet, samt att den är enkelt ställbar för olika dimensioner och former.

Kraften som behövs för att hålla fast arbetsstycket kan fås fram på två olika sätt. Den första metoden går ut på att mäta upp kraften som förekommer av bearbetningsverktyget med tre dynamometrar så som i figur 2. Då får man reda på hur stor kraft som förekommer under bearbetning för alla axlar. (Associates, 1980, s724).



Figur 2. Visar ett exempel på dynamometrarnas placering.

Har man inte möjlighet att mäta kraften med dynamometrar kan man kalkylera fram kraften som förekommer av bearbetningen med formler och tabellerade värden för olika material. Kalkyleringen utförs genom att först räkna ut materialavlägsningshastigheten Q enligt ekvation (4). Sedan räknas effekten vid spindeln kW_s ut med formel (5), där P är ett tabellerat värde som är beroende av bearbetningsmaterialet. Till sist kan man lösa ut skärkraften F_c från formel (6) som är den teoretiska kraften som förekommer från bearbetningsverktyget. Med denna kraft kan man utse en lämplig klämkraft för att spänna fast arbetsstycket med en flerfaldig säkerhet. (Associates, 1980, ss726-732).

$$Q = \frac{w \times d \times f_t \times n \times RPM}{1000} \quad (4)$$

$$kW_s = Q \times P \quad (5)$$

$$kW_s = \frac{F_c \times V_c}{60000} \quad (6)$$

3.2 Olika fräsmaskiner

Fräsmaskiner kan indelas i två olika grupper, horisontella och vertikala fräsmaskiner. Den horisontella fräsmaskinen fastsätts arbetsstycket på bordet. Verktyget ligger i horisontell riktning och rör sig sidlänges, medan bearbetningsbordet rör sig från och mot verktyget. Bearbetningen sker huvudsakligen i horisontell riktning eller alternativt kan man närma sig arbetsstycket från olika vinklar om maskinen är utrustad med ett universellt bearbetningsbord.

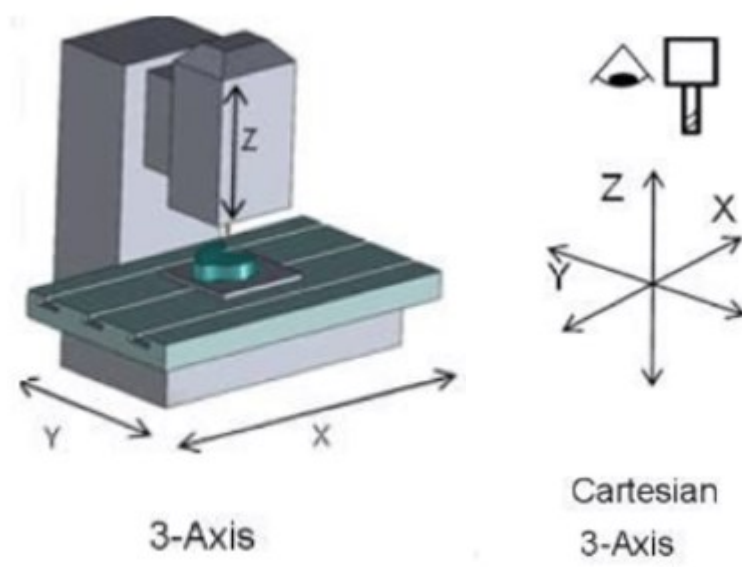
Det finns två olika typer av vertikala fräsmaskiner, tornfräs och sängfräs. Båda typerna har gemensamt att arbetsstycket fastsätts på bordet. För en tornfräs är bearbetningsbordet förflyttbart i både horisontell och vertikal riktning. För en sängfräs kan bearbetningsbordet endast förflyttas i horisontell riktning, medan verktyget kan förflyttas i vertikal riktning.

De olika typerna av fräsmaskiner har flera likheter och olikheter. Den största skillnaden med dessa maskintyper är verktygets orientering mot arbetsstycket. För en horisontell fräsmaskin lämpar sig till större men korta verktyg bättre, vilket gör att större mängder med material kan tas bort från arbetsstycket på en kortare tid jämfört med en vertikal maskin. Den vertikala maskinen klarar av största delen av allmänna fräsoperationer, men är bäst på nedskärningar och borrar i arbetsstycket. De optimala verktygen för denna maskintyp är mindre och

långa verktyg. Skillnaden på verktygens geometri mellan den horisontella och vertikala maskinen gör att den vertikala maskinen ger en högre noggrannhet. Investerings och underhållskostnader för en vertikal maskin är mindre jämfört med en horisontell maskin. I längden kan kostnaderna kompenseras med att den horisontella maskinen klarar av att bearbeta större volym på mindre tid. (Velling, 2021).

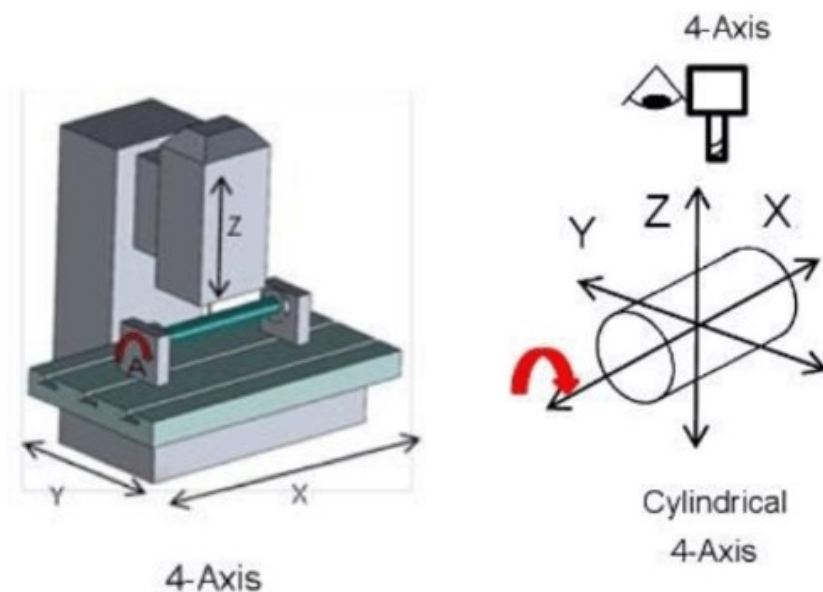
3.3 Axelantal på fräsmaskiner

I en 3-axlig fräsmaskin är arbetsstycket fastsatt på ett bearbetningsbord. Både bearbetningsbordet och verktyget kan röra sig i ett eller två plan beroende på om fräsmaskinen är en horisontell eller vertikal maskin. Begränsningen med 3-axliga maskiner är att de inte kan utföra komplicerade bearbetningsstycken, och har en begränsad åtkomst för olika ytor på arbetsstycket. En 3-axlig fräsmaskin lämpar sig bäst åt enkla komponenter och är ganska enkel att ställa upp till en ny detalj. Axelriktningarna för en 3-axlig maskin kan studeras från figur (3). (Axsom, 2022).



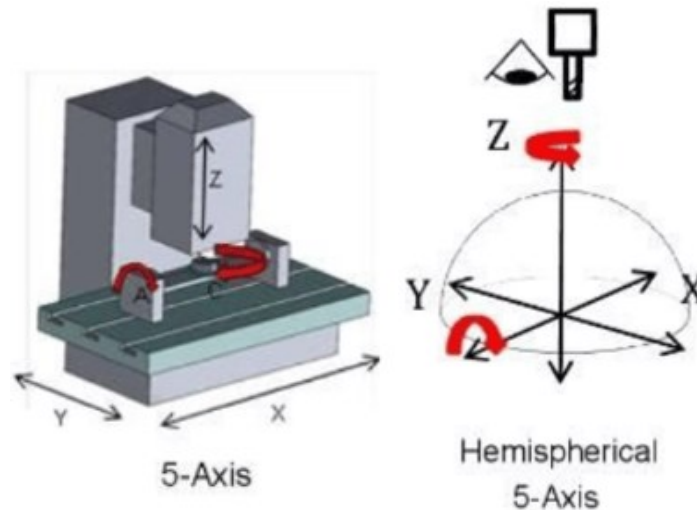
Figur 3. Visar axelriktningarna för en 3-axlig fräs.

Funktionen för en 4-axlig fräsmaskin är liknande till en 3-axlig maskin. Arbetsstycket är stationärt medan verktyget utför bearbetningen. Skillnaden för maskinerna är att en till rotationsaxel kring X-axeln som bildar det fjärde planet för en 4-axlig maskin och kallas då A-axeln. Rotationen kan utföras genom att antingen rotera verktyget eller arbetsstycket. Den här maskinen lämpar sig bäst för att borra hål, skära längs en båge och fickfräsningar. Axlarna för en 4-axlig fräsmaskin kan ses från figur (4) (Axsom, 2022).



Figur 4. Visar axelriktningarna för en 4-axlig fräs.

Grundprincipen för en 5-axlig fräsmaskin är samma som för en 3 eller 4-axlig maskin. För maskinen är den femte axeln en rotationsaxel som roterar kring Z axeln. Med en 5-axlig maskin möjliggör man bearbetning på 5 olika sidor på bearbetningsstycket och lämpar sig till komplexa komponenter som kräver hög noggrannhet. Nackdelen med maskinen är att den är svår att programmera relaterat till maskiner med färre antal axlar. De är också dyra maskiner och underhåll kan vara kostsamt. Axlarna för en 5-axlig maskin kan studeras från figur (5). (Axsom, 2022).



Figur 5. Axelriktningar för en 5-axlig fräs.

3.4 Automationslösningar för fräsmaskiner

För att automatisera en fräsmaskin finns några metoder som anses rimliga för arbetet. I detta kapitel presenteras två vanligaste metoderna som kan tillämpas, samt utrustning som möjliggör bemanningslös bearbetning. Fördelar och nackdelar för båda systemen presenteras.

3.4.1 Robot

En industrirobot är en programmerbar maskin som kan utnyttjas för att automatisera delar av till exempel en produktion. Den lämpar sig bäst för repetitiva uppgifter och kan utföra dem snabbt och noggrant. Fördelen med en industrirobot är att den kan minska belastningen för manuella, smutsiga och tråkiga arbeten. Med en industrirobot får man också en ökad produktivitet eftersom den kan operera dygnet runt. Med den höga noggrannheten som kommer med industriroboten kan minska antalet felaktiga komponenter från produktionen. Maskinen är ofta placerad i ett skåp, eller inburad med staket för arbets säkerhetens skull. Nackdelarna med en industrirobot är att investeringskostnaderna är ganska höga. Programmering och felsökning kan vara komplext som gör att inställningstiden ökar.

Vill man ha en robot som är vänligare för arbetsmiljön kan man använda sig av en cobot. Med en cobot är det lämpligt att arbeta bland människor eftersom den är utrustad med sensorer som kan reagera på avbrott när som helst under sitt arbete. Det är ett mera användarvänligt och kostnadseffektivt alternativ till en industriell robot fastän funktionen i den och i en cobot är i stort sett samma. (Becher, 2024).

3.4.2 Robotverktyg

Verktygen som sätts på en robot måste ha en hög precision för att kunna utföra noggranna operationer. För robotar finns några vanliga typer av verktyg. Den vanligaste typen av robotverktyg är 2 finger grippern. Den har två fingrar som öppnas och stängs för att greppa och lossa ett arbetsstycke. Fingrarna på en 2 finger gripper kan ha olika storlekar och former enligt behov som ger verktyget en fördel. Den största nackdelen är att den inte centrerar arbetsstycket till centrum av verktyget när det stängs.

En 3 finger gripper har tre fingrar runt ett centrum med 120 graders mellanrum på fingrarna. När man stänger detta verktyg rörs alla fingrar mot centrumet av fingrarna. Denna rörelse gör så att arbetsstycket centreras exakt till mitten av de tre fingrarna som gör att det underlättar att få arbetsstycket på exakt samma ställe. (GripShape, u.d.).

En vakuum-gripper är ett verktyg som använder sig av sugkraft för att lyfta och flytta på arbetsstycket. Fördelen med denna gripper är att den kan lyfta föremål utan att ta tag i den från sidan eller underifrån. Verktyget skadar eller skråmar inte heller arbetsstycket. Nackdelen med detta verktyg är att den klarar endast av att lyfta föremål från en plan yta, och ytan måste vara ganska ren för att säkerställa att föremålet hålls fast i grippern. (Granta Automation, 2023).

3.4.3 Verktygsväxlare

Om man vill använda olika verktyg på roboten kan man underlätta verktygsbyten med en verktygsväxlare. Verktygsväxlaren kan delas in i två sidor, huvudsidan och verktygssidan. Huvudsidan är den sidan som skruvas fast på roboten. I den andra sidan fastsätts verktyget med en snabbkoppling. Snabbkopplingen fungerar oftast med pneumatik, som betyder att man kan styra den med I/O-signaler. Man kan då programmera roboten att utföra verktygsbyten automatiskt så länge roboten vet var den har de alternativa verktygen. (ATI Industrial Automation, u.d.).

3.4.4 Palettmagasin

Ett palettmagasin vid fräsning är en automatiserad lösning som byter ut paletten i fräsmaskinen. Roboten lyfter upp paletten med den färdigt bearbetade delen. Sedan roterar roboten 180 grader och lyfter ner en ny palett med en obearbetad del. Storleken på palettmagasinen kan variera med ungefär fem till mera än hundra paletter. Med ett palettmagasin förbättrar man maskinanvändningsgraden genom en konstant bearbetningsprocess. Man kan också ställa in nästa arbeten medan bearbetningsprocessen är i gång. Nackdelen med ett palettmagasin är att den tar upp ett stort utrymme och har höga investeringskostnader. Alla paletter måste också laddas manuellt som gör att den obemannade drifttiden kan bli kort om man har ett litet palettmagasin. För att få en högre automationsgrad kan man kombinera en industrirobot till palettmagasinet som byter ut de färdiga komponenterna från paletterna. (Hwacheon, 2018).



Figur 6. Presenterar bild på ett palettmagasin.

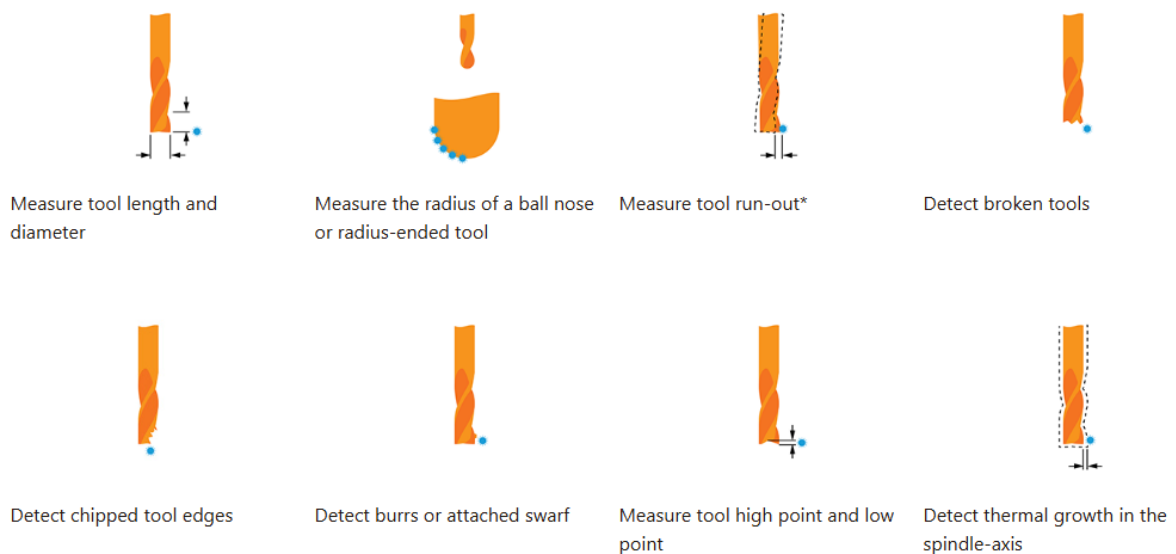
3.5 Kontroll av bearbetningsverktyg

Vid användningen av en bearbetningsmaskin lönar det sig att kontrollera bearbetningsverktygen för att undvika haveri och felaktiga komponenter. Detta kan göras manuellt av en maskinoperatör, alternativt att man har ett system som klarar av att göra det automatiskt. För att automatisera denna process finns det några lösningar som kan tillämpas.

En enkel kontaktverktygsställare fungerar genom att bearbetningsverktyget körs mot en mätpenne. När pennan avkänner bearbetningsverktyget, skickas en signal till bearbetningsmaskinens styrenhet. Verktygsgeometrin kan då uppdateras, eller så alarmerar

bearbetningsmaskinen om att verktyget är sönder. Fördelen med denna metod är att den är simpel och relativt billig. Nackdelen med komponenten är att den endast klarar av att mäta verktygsländan och diametern, samt detektera om verktyget har gått sönder.

Alternativt kan man använda sig av en kontaktlös verktygsställare som fungerar med laserteknologi. Den fungerar genom att man kör verktyget in i en laserstråle. Fördelen med detta system är att den kan utföra mera avancerade mätningar som presenteras i figur (7). Nackdelen är att de avancerade mätningarna kräver skild programmering, skilt för varje verktyg. (Renishaw, u.d.).



Figur 7. Visar mätningar som en kontaktlös verktygsställare kan utföra.

En annan lösning kan användas för verktygskontroll är kamerateknologi. Den fungerar genom att installera en kamera i bearbetningsmaskinens verktygsmagasin. Varje gång ett verktygsbyte utförs kontrolleras verktygets skick. Utrustningen klarar av att mäta verktygslängd och geometri samt detektera om verktygets skär är bristfälligt. Fördelen med detta system är att det är snabbare än de andra eftersom kontrolleringen sker i samband med verktygsbyte. (DMG Mori, 2021).

3.6 Driftsäkerhet

Med driftsäkerhet avses en maskin eller systems förmåga att prestera högt, fastän fel och störningar uppstår. Driftsäkerheten kan bestämmas av både funktionssäkerheten och underhållsmässigheten. Dessa faktorer måste beaktas vid planering av ett nytt system för att få ut maximal lönsamhet från systemet.

3.6.1 Funktionssäkerhet

För funktionssäkerhet finns mått som man kan användas för att få en överblick av systemets pålitlighet. För att få reda på medeltiden mellan fel kan man använda sig av MTBF. Detta värde kan uppskattas eller beräknas som medelvärdet av tid mellan fel vid givna driftförhållanden. Med detta mått utgår man från att förebyggande underhåll inte utförs. Om man vill beakta förebyggande underhåll i MTBF bör det vara noggrant specificerat. Ett annat mått som kan användas är medellivslängden. Det är ett väntevärde på livslängden för en specifik komponent vid givna driftförhållanden, till exempel ett kullager. (Johansson, 1993, s 18-19).

3.6.2 Underhållsmässighet

Med underhållsmässighet avses hur enkelt en komponent går att underhålla. Underhållsmässigheten påverkar på driftsäkerheten. För att uppfylla kraven för en bra underhållsmässighet ska man göra en plan för underhållsmässighetsgranskning för alla komponenter. Man behöver också specificera olika mått på underhållsmässigheten, samt ha tekniker för att uppskatta underhållsmässigheten för nya komponenter. De nya komponenternas underhållsmässighet ska uppföljas och bekräftas. Ett vanligt mått på underhållsmässighet är MTTR, som står för medelreparationstiden. (Johansson, 1993, ss25-27).

4 Metoder

I detta kapitel beskrivs tillvägagångssätt som använts för att komma fram till ett resultat och hur informationen har blivit uppsamlad. För ekonomidelen och automationsdelen har olika undersökningsmetoder använts för att utföra uppgiften och komma fram till ett resultat.

4.1 Ekonomiska delen

För den ekonomiska delen har informationen samlats upp genom att studera böcker. Från källorna har informationen sammanfattats för de begrepp, formler och kalkyleringsmetoder som behövs för att utföra de ekonomiska kalkylerna för uppgiften. För kalkylerna behöver man utreda priser för komponenterna. Dessa priser har tagits fram från leverantörens webbsidor för de komponenter som har prissatts offentligt. I de fall där inte priserna är utgivna har diskussioner med försäljare utförts för att få fram realistiska priser. Inbetalningsöverskottet har uppskattats genom att jämföra med de existerande maskiner hos företaget för att få ett realistiskt värde.

4.2 Automationsdelen

Informationen för maskinen och komponenterna för uppgiften har tagits fram med flera olika metoder. Undersökningen för bearbetningsmaskinen och robotcellen har utförts genom företagsbesök på DMG-fabriken i Tyskland samt maskinutställningar och diskussioner med försäljare. När maskinen och robotcellen var utvalda användes manualer och datablad för att få reda på tilläggfunktionerna som fanns tillgängliga för maskinen. För de övriga komponenterna har informationen hittats från leverantörers webbsidor och manualer. Att kommunikation mellan maskin och komponenter fungerar har bekräftats med försäljare.

5 Kravspecificering

I detta kapitel kommer kraven för maskinen och komponenterna beskrivas. Kraven kommer att sättas med syfte på att utrustningen ska klara av bemanningslös bearbetning mellan 3 - 8 timmar om dygnet.

För att bearbetningsmaskinen ska klara av att operera utan operatör behöver man någon komponent som kan kompensera och kontrollera verktygets skick för att undvika haveri. När ett fel detekteras behöver maskinen och komponenten kunna kommunicera, så att ett verktygsbyte till ett systerverktyg utförs. För att fortsättningsvis kunna öka på driftsäkerheten anses det nödvändigt att bearbetade delarna kontrollmäts automatiskt.

Kraven som finns för fastsättningen av arbetsstycket är att fastsättningsutrustningen måste kunna styras med robotens I/O-signaler. Fastsättningsutrustningen måste vara enkelt utbytbar för olika storlekar vid behov. En klämkraft på ungefär 35 kN måste uppnås med för att kunna hålla fast arbetsstycket under bearbetning. Klämkraften innehåller flerfaldig säkerhet.

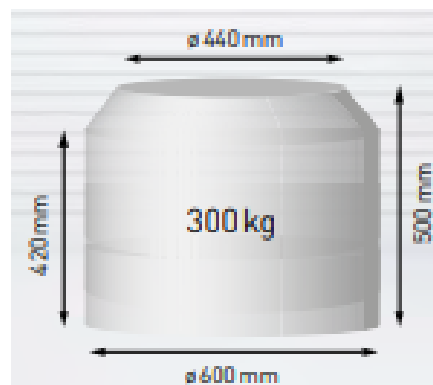
I det här fallet anses det att användning av en industrirobot är en bra lösning för att kunna använda sig av den tid som inte maskinoperatörer är på plats. Råmaterial som roboten behöver flytta väger mindre än 15 kg. Robotens verktyg har som krav att det enkelt går att ställa om till olika dimensioner.

6 Resultat

I det här kapitlet introduceras arbetets resultat. Maskinen och komponenter som möjliggör obemannad bearbetning presenteras, och en layout för bearbetningsmaskinens arbetsbord uppvisas. För dessa komponenter utförs investeringskalkyler som presenterades i teorin för att undersöka lönsamheten och återbetalningstiden.

6.1 Maskinval

För arbetet valdes en 5-axlig fräsmaskin från maskintillverkaren DMG Mori med modellen DMU 50. Maskinen klarar av att bearbeta arbetsstycket på alla sidor samt att borra sneda hål i samma festsättning som gör den betydligt enklare att automatisera med en industrirobot eftersom man kan utföra bearbetningen med få antal moment. Maskinens styrning kommer antingen att vara Siemens 840D eller Fanuc MAPPS. Maskinens räckvidd kan ses från figur (8).

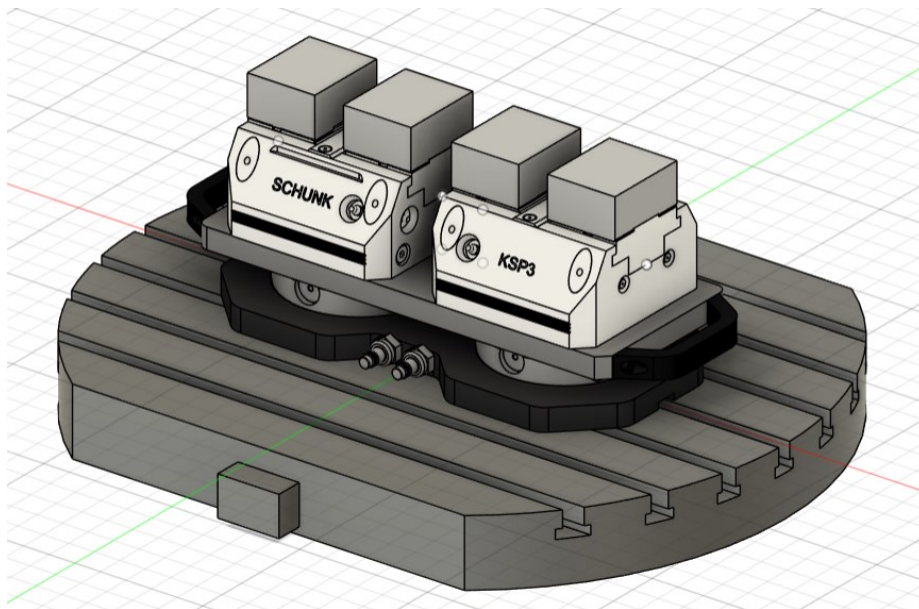


Figur 6. Visar maskinens räckvidd.

Tilläggsfunktioner som anses nödvändiga till maskinen är robotinterface, för att få mera I/O signaler och säkerhetsutrustning till maskinen. Behov av pneumatikinterface finns också eftersom skruvstaden ska kunna styras automatiskt genom truckluftkanaler som tillsätts inuti bearbetningsbordet. När maskinen körs obemannad behövs ett större verktygsmagasin för att man ska kunna ha flera likadana verktyg i magasinet som byts ut vartefter brister upptäcks i verktyget. Priset för maskinen med tillägg, integrering och utbildning blir 385 000 €.

6.2 Fastsättning av arbetsstycke

På fräsmaskinens bearbetningsbord placeras en dubbel klämstation med modellen NSL 200-V1-T. Klämstationernas syfte är att klämma fast en bricka med två skruvstäd. Klämstationerna används för att man enkelt ska kunna byta till en annan bricka som är utrustad med andra skruvstäd eller fastsättningsutrustning av olika storlekar. Använder man klämstationen enbart med fjäderkraft har den en klämkraft på 16 kN. För att öka på klämkraften kan man använda turbo funktionen genom att tillföra 6 bar tryckluft och uppnår då en klämkraft på 56 kN. Skruvstäderna kan uppnå en klämkraft på 45 kN vid ett tryck på 9 bar. Den här utrustningen kommer från tillverkaren Schunk. Priset är 11 778 € och inkluderar klämstationen, brickan och skruvstäderna. En alternativ layout kan studeras från figur 9. (Schunk, u.d.).



Figur 7. Visar en alternativ layout för fräsmaskinens bord.

6.3 Verktygs kontroll

För att kontrollera verktygen har valts en verktygsställare från tillverkaren Renishaw med modellen F230 C. Utrustning klarar av att automatiskt mäta verktygslängder och geometri med hjälp av laserteknologi. Utrustningen kan uppdatera verktygskompenseringen som kan variera under verktygets livslängd på grund av verktygets slitage och temperaturskillnader. Utrustningen monteras in i maskinen, och varje verktyg mäts och kontrolleras före användning för att få den bästa noggrannheten och säkerheten.

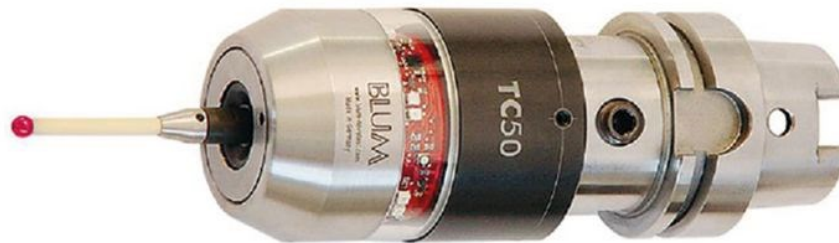
Om ett skadat verktyg detekteras utför utrustningen ett verktygsbyte till ett systemverktyg från bearbetningsmaskinens verktygsmagasin och fortsätter sedan med operationen. Priset för utrustningen är 6980 € och visas i figur 10. (Renishaw, u.d.).



Figur 8. Visar bild på verktygsställaren.

6.4 Mätkontroll

För att säkerställa att färdiga arbetsstycken har rätta dimensioner kontrollmäts de med en probe. Verkyget placeras i bearbetningsmaskinens verktygsmagasin. Mätningen utförs automatiskt efter att bearbetningsstycket är färdigt bearbetat. En probe kan utföra kompensering på bearbetningsverktygen om måtten håller på att gå utanför angiven tolerans. Verkyget kan också mäta in nollpunkter när man ställer in nästa arbete. Priset för verkyget och hårdvaran ingår i maskinpriset. Verkyget kan studeras från figur 11. (Heller, u.d.)



Figur 9. Visar verkyget som utför mätkontrollen på arbetsstycket.

6.5 Robotval

För att byta delarna i bearbetningsmaskinen valdes en WH 15 cell. Cellen innehåller en robot från tillverkaren Fanuc med modellen M-20iD/25. Roboten har 6 axlar och klarar av att lyfta upp till 25 kg med en räckvidd på 1831mm. Inuti cellen finns lådor där råmaterial och de färdiga delarna lagras. För robotens verktyg valdes en Dual gripper av tillverkaren Schunk med modellen PGN80. Priset för roboten och dess komponenter blir 184 000 €. En bild på maskinen och robotcellen kan ses i figur (12). (Fanuc, u.d.; DMG Mori, u.d.)



Figur 10. Visar maskinen och robotcellen.

6.6 Lönsamhets- och återbetalnings kalkyler

För att utföra de kalkylerna som behandlades i teorin antogs att investeringens livslängd är 15 år och då uppskattas maskinens restvärde till 80 000 €. För att komma fram till ett realistiskt värde för inbetalningsöverskott användes ungefärliga värden från maskinerna som redan finns hos företaget. Till detta värde tillades 6 arbetstimmar per arbetsdag på ett års tidsperiod eftersom denna maskin kommer att köras nattetid. Då blev inbetalningsöverskottet 75 801 € per år. Som kalkylränta ansågs 10 % realistiskt som minsta avkastningskrav för investeringen. För investeringen blev den totala kostnaden 587 758 €. Med dessa värden kan återbetalnings och lönsamhetskalkylen beräknas.

Med de ovanstående värden kalkylerades återbetalningstiden enligt formel (1) och blev då 7,75 år.

För nuvärdemetoden kalkylerades först nuvärdessumman till 7,6 enligt formel (2) och nuvärdesfaktorn till 0,24 enligt formel (3). Sedan diskonterades beloppen till tidpunkten när investeringen utförs. Nuvärdet blev då 7946 € som betyder att maskinen avkastar mera än 10 %.

7 Resultatdiskussion

Syftet var att komma fram med en lösning för att kunna utföra bemanningslös bearbetning samt att fundera på om det skulle vara en ekonomiskt lönsam investering. Formler och begrepp bakom de ekonomiska kalkylerna har studerats från böcker. Enligt kalkylerna uppenbaras att det skulle vara ekonomiskt lönsamt att investera i utrustningen. Nuvärdet kalkylerades till 7946 € som betyder att investeringen klarar av att avkasta minst 10 %. Återbetalningstiden blev 7,75 år som är ganska bra för en större investering. För de ekonomiska kalkylerna finns en oförutsägbar osäkerhet eftersom flera av värdena som används i kalkylerna endast är uppskattningsbara före anskaffningen av investeringen. För att få en så liten osäkerhet som möjligt har det använts data från befintliga maskiner hos företaget för kalkylerna.

Valet av maskin och utrustning anses vara en fungerande lösning för att utföra bemanningslös bearbetning. Layouten på maskinens bearbetningsbord är flexibelt och går lätt att ändras. För layouten finns flera lösningar som skulle kunna tillämpas, till exempel en pyramidfixtur. Problemet med den är att man inte kan byta ut skruvstäden lika enkelt, eftersom pyramiden är tung och skruvstäden är fastskruvade i fixturen. Med den layouten som presenteras i resultatet kan man enkelt byta ut brickan och ha olika skruvstäd och fixturer som är en fördel när man har en varierande produktion. Klämkraften som behövs för fastsättningen togs fram enligt teorin. Några av de program som används vid företaget användes för att hitta ett verktyg med höga skärkrafter.

Kommunikationen mellan maskinen och utrustningen har säkerställts med försäljare så att de klarar av att kommunicera med varandra. I alla komponenternas pris ingår också skolning. Metoderna som användes för maskin och komponentval var huvudsakligen diskussioner med försäljare och företagsbesök hos maskintillverkare. Tillverkarens hemsidor har också använts.

8 Förslag till fortsatt arbete

För att bygga vidare på detta arbete kunde man inkludera flera ekonomiska kalkyler för att säkerställa det ekonomiska resultatet. De värden som används i kalkylerna är endast uppskattningsbara. Med flera kalkyler minskar man på risken för att beräkningarna ska vara felaktiga eller missvisande. Något som fortsättningsvis kunde undersökas är av kostnader för planering och programmering av maskin och utrustning.

Arbetet har ett identifierat behov av ytterligare studier för alternativa leverantörer för utrustningen för att hitta den mest prisvärda helheten. I arbetet har endast en layout tagits fram och analyserats för bearbetningsmaskinens bord. Som fortsatt arbete skulle det vara värdefullt att undersöka olika layouter och hitta den mest optimala lösningen för maskinen.

9 Diskussion

Det här arbetet har gett mig en större förståelse för de praktiska utmaningarna av att planera en lösning för obemannad bearbetning. Jag anser att syftet som var att undersöka lönsamheten för en obemannad bearbetningsmaskin har uppnåtts. Till utförandet valdes lämpliga metoder för att uppnå ett resultat. Tekniska datan av bearbetningsmaskinen i arbetet är knapp, eftersom den inte är offentligt publicerad, men fås på begäran av försäljare. Källorna som har använts i arbetet anses relevanta och tillförlitliga. Investeringsförslaget som presenteras i examensarbetet är inte slutgiltigt, utan endast en början till en översikt om lönsamheten för bemanningslös bearbetning. Resultatet av uppgiften är till största delen företagsspecifikt, men kan användas av andra ifall man utför modifikationer.

10 Litteraturförteckning

- Andersson, G. (2008). *Kalkyler som beslutsunderlag*. Stockholm: Studentlitteratur.
- Associates, M. R. (1980). *Machining Data Handbook*. Pennsylvania State University, Pennsylvania: Metcut Research Associates.
- ATI Industrial Automation. (u.d.). Hämtat från https://www.atia.com/products/toolchanger/robot_tool_changer.aspx?utm_source
- Axsom, T. (den 08 09 2022). *Fictiv*. Hämtat från <https://www.fictiv.com/articles/3-axis-to-12-axis-cnc-milling-machine-capabilities-compared>
- Backman, J. (2016). *Rapporter och uppsatser*. Stockholm: Studentlitteratur.
- Becher, B. (den 05 02 2024). *Built in*. Hämtat från <https://builtin.com/robotics/what-are-industrial-robots>
- DMG Mori. (den 10 11 2021). Hämtat från <https://www.dmgmori.co.jp/en/products/machine/id=6331>
- DMG Mori. (u.d.). *DMG Mori*. Hämtat från <https://www.dmgmori.co.jp/sp/automation/en/lineup/products/whcell.html>
- Fanuc. (u.d.). *Fanuc*. Hämtat från <https://www.fanuc.eu/product/robot/m-20id25>
- Granta Automation. (den 21 7 2023). Hämtat från <https://www.granta-automation.co.uk/news/what-is-a-vacuum-gripper/>
- Greve, J. (2009). *Ekonomistyrning principer och praxis*. Stockholm: Studentlitteratur.
- GripShape. (u.d.). Hämtat från <https://www.gripshape.com/resources/2-jaw-vs-3-jaw-grippers>
- Heller. (u.d.). *Heller.biz*. Hämtat från <https://www.heller.biz/en/services/retrofit-packages/retrofit-packages-finder/products/blum-measuring-probe-vn9100010/>
- Hwacheon. (den 1 10 2018). *hwacheonasia*. Hämtat från <https://hwacheonasia.com/how-automatic-pallet-changers-enhance-cnc-machine-production/>
- Johansson, K. (1993). *Driftsäkerhet och underhåll*. Stockholm: Studentlitteratur.
- Renishaw. (u.d.). *Renishaw.com*. Hämtat från <https://www.renishaw.com/en/advanced-laser-tool-setters-for-cnc-machines--6099>
- Schunk. (u.d.). *Schunk*. Hämtat från <https://schunk.com/fi/en>
- Velling, A. (den 21 01 2021). *Fractory*. Hämtat från <https://fractory.com/horizontal-vs-vertical-milling/>