

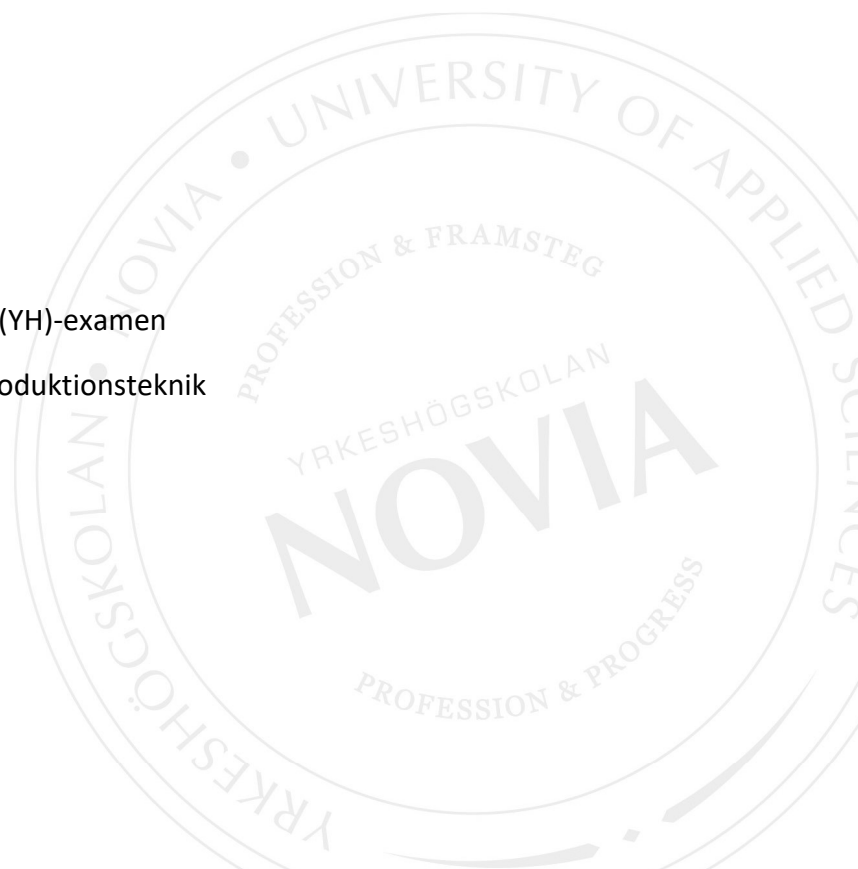
Analys baserat på sandpappers funktioner och egenskaper för optimering av robotapplikationer

William Antus

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningen maskin- och produktionsteknik

Vasa 2021



EXAMENSARBETE

Författare: William Antus
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Drifts- och energiteknik
Handledare: Tobias Ekfors (Novia)
Tomas Sjöberg (Mirka Ab)

Titel: Analys baserat på sandpappers funktioner och egenskaper för optimering av robotapplikationer

Datum 24.3.2021

Sidantal 36

Bilagor 2

Abstrakt

Detta examensarbete utfördes på uppdrag av Mirka Ab och behandlade ämnet slipning med robot. Examensarbetet utfördes baserat på efterfrågan från marknaden där intresset för effektiva slipprocesser med robotsystem inom industrin ständigt ökar.

Syftet med arbetet var att identifiera vilka parametrar som inverkar på slipresultatet vid slipning med en robot för att kunna utveckla och skapa en optimerad robotapplikation. Arbetet utfördes i ett nära samarbete med mina handledare, genom intervjuer med yrkeskunniga och genom litteraturstudier inom ämnet.

Arbetet med optimeringsmodellen bestod av skolning om användning och programmering av en samarbetsrobot från Universal Robots och fördjupning inom säkerhet och användning av Mirkas slipmaskinsmodell Airos. För att uppnå resultatet utfördes sliptester utgående från en matrismodell som skapades i programvaran Minitab. Resultatet analyserades i Minitab och åskådliggjordes sedan med grafer och tabeller i programmet Excel. I slutet av arbetet presenteras en diskussion om resultatets trovärdighet och möjligheter till fortsatt forskning.

Resultatet från detta arbete består av en optimerad kombination av parametrar för en robotapplikation. Robotapplikationen som detta arbete kommit fram till kan sedan appliceras inom industrin för en effektiv slipprocess.

Sammanfattningsvis konstaterades att optimeringsmodellen som skapades fungerade effektivt och kan i framtiden användas som grund för vidare forskning inom robotslipning. En optimerad robotapplikation kan leda till en snabbare och mera kostnadseffektiv slipprocess.

Språk: svenska

Nyckelord: robotik, parametrar, slipning, optimering, samarbetsrobot.

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: William Antus
Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Käyttö- ja energiatekniikka
Ohjaajat: Tobias Ekfors (Novia)
Tomas Sjöberg (Mirka Oy)

Nimike: Hiekkapaperitoimintojen ja -ominaisuuksien perusteella tehty analyysi
robottisovelluksen optimoimiseksi

Päivämäärä 24.3.2021

Sivumäärä 36

Liitteet 2

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö tehtiin Mirka Oy:n toimeksiannosta ja aiheena on hionta robotilla. Opinnäytetyö on tehty markkinoiden perusteella, missä kysyntä hiontarobottisovelluksesta teollisuudessa jatkuvasti kasvaa.

Tehtävänä oli tunnistaa mitkä parametrit vaikuttavat hiontatulokseen, ja sen avulla optimoida robottisovellus. Opinnäytetyö tehtiin ohjaajien, alan ammattilaisten ja kirjallisuustutkimusten avustuksella.

Optimointimallien työvaiheet koostuivat koulutuksesta ja ohjelmoinnista. Käytettiin Universal Robotin yhteistyörobotia, johon ohjelmointiin hiontaohjelma. Toiseen vaiheeseen kuului erikoistuminen Mirkan Airos-hiomakoneen turvallisuuteen ja käyttöön. Tuloksen saavuttamiseksi tehtiin hiontatestejä missä testattiin eri parametrien yhdistelmiä. Testejä suoritettiin matriisin perusteella, joka tehtiin ohjelmistossa nimeltä Minitab. Työn tulokset analysoitiin Minitab-ohjelmassa ja esitettiin Excel-ohjelmassa kaavioilla ja taulukoilla. Työn loppuosassa otetaan kantaa tuloksien luotettavuuteen ja jatkokehitysmahdollisuuksiin.

Tämän työn tulos koostuu parametrien optimoidusta yhdistelmästä robottisovellukseen. Optimoitua robottisovellusta voidaan soveltaa teollisuudessa tehokkaan hiontaprosessin saamiseksi.

Yhteenvetona todettiin, että optimointimalli toimi tehokkaasti ja sitä voidaan käyttää perusteena jatkotutkimukseen tulevaisuudessa. Optimoitu sovellus voi nopeuttaa prosesseja ja parantaa robottihionnan kannattavuutta.

Kieli: ruotsi Avainsanat: robotiikka, parametrit, hionta, optimointi, yhteistyörobotti

BACHELOR'S THESIS

Author: William Antus
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering
Specialization: Operation and Energy Technology
Supervisors: Tobias Ekfors (Novia)
Tomas Sjöberg (Mirka Ltd)

Title: Analyse sandpaper's functions and properties to optimise robot applications

Date March 24, 2021

Number of pages 36

Appendices 2

Abstract

This thesis was conducted on behalf of Mirka Ltd, and the subject of this thesis was robotic sanding. The thesis was executed based on the market demand where the interest of effective sanding solutions for robots in the industry area continuously grows.

The purpose of the task was to identify which parameters affects the sanding result while sanding with a robot and based on these results, to develop an optimised robot application. The process with the optimized application consisted of a close collaboration with my supervisors, through interviews with professionals and studying literature withing the area.

The working process with this thesis consisted of education and programming a collaborative robot by a model from Universal Robots. Beyond that second step was to specialize into security and usage of the sanding machine Mirka Airos. The result was accomplished by sanding tests based on a matric model with parameters produced in the Minitab software. The result was analysed in Minitab and visualized through graphs and charts in the Excel program.

The result of the thesis consists of an optimised combination of parameters for a robot application. The application can be applied for automation of sanding processes in the industry.

In conclusion the optimisation model that was created worked effectively and it can in the future been used as base for further research and development of robot sanding solutions. An optimised sanding solution can lead to a faster and a more cost-effective sanding process.

Language: Swedish Key words: robotics, parameters, sanding, optimisation, collaborative robot

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Mål.....	2
1.4	Avgränsningar.....	2
1.5	Företagspresentation Mirka Ab.....	3
1.6	Disposition.....	4
2	Teori.....	4
2.1	Robotteknik.....	4
2.2	Industriell robotteknik.....	5
2.2.1	Industriella robotmarknaden.....	7
2.3	Robotsystemets beståndsdelar.....	7
2.3.1	Manipulator.....	7
2.3.2	Styrsystem.....	8
2.3.3	Sensorer.....	9
2.3.4	Verktyg.....	10
2.4	Collaborative robot.....	10
2.4.1	Universal Robots.....	12
2.4.2	Universal Robots Academy.....	13
2.5	Programmering.....	13
2.6	Slipning.....	14
2.6.1	Manuell slipning.....	14
2.6.2	Automatiserad robotslipning.....	15
2.6.3	Airos-serien.....	16
2.7	Six Sigma.....	17
2.7.1	Taguchi-serien.....	18
2.7.2	DOE-matrismodell.....	18
2.8	Minitab.....	19
3	Metoder.....	19
3.1	Skolning.....	20
3.2	Utrustning.....	21
3.3	Matrismodellförslag 1.....	21
3.4	Mätutrustning.....	22
4	Resultat.....	24
4.1	Faktoriell regression.....	25
4.2	Faktoriella grafer.....	28

4.3	Optimeringsgraf	30
4.4	Resultatdiskussion	33
4.5	Förslag till fortsatt forskning.....	34
5	Diskussion	34
6	Källförteckning.....	36

Bilagor

Figurförteckning

Figur 1. Mirkas logo. (Mirka AB, 2020)	3
Figur 2. Klassificering av robotar. (Mihelj, o.a., 2019).....	5
Figur 3. Industrirobot klassificering. (Mihelj, o.a., 2019)	6
Figur 4. UR10e. (Universal Robots, 2020).....	12
Figur 5. Mirka Airos 650CV. (Mirka Ab, 2020)	16
Figur 6. Bild av lufttryckmätaren.	22
Figur 7. Bild av Mitutoyo SJ-310. (Mitutoyo U.S.A, 2021).....	23
Figur 8. Bild av glansmätaren.	23
Figur 9. Bild av vågen som användes.....	23
Figur 10. Bild av graf med resultatet från sliptestet.....	24
Figur 11. Diagram över parametrarnas inverkan på slipresultatet under första sekvensen.	25
Figur 12. Diagram över parametrarnas inverkan på slipresultatet under andra sekvensen.	26
Figur 13. Diagram över parametrarnas inverkan på slipresultatet under tredje sekvensen.	26
Figur 14. Diagram över parametrarnas inverkan på ytjämnheten under första sekvensen.	27
Figur 15. Diagram över parametrarnas inverkan på livslängden på sandpappret.....	27
Figur 16. Graf för avverkningen under första sekvensen.....	28
Figur 17. Graf för avverkningen under andra sekvensen.....	29
Figur 18. Graf för avverkningen under tredje sekvensen.....	29
Figur 19. Graf för Rz-värdet under den första sekvensen.....	30
Figur 20. Graf som beskriver optimala parameter förhållandet.....	31
Figur 21. Resultat från verifieringstestet.....	32

Tabellförteckning

Tabell 1. Matrismodellförslag för praktiska sliptestet.	22
Tabell 2. Matrismodell för verifieringstestet.....	32
Tabell 3. Medelvärden för avverkningen och ytjämnheten från verifieringstestet.....	32
Tabell 4. Optimerade robotapplikationen.....	33

Bilageförteckning

Bilaga 1. Tabell med resultatet från sliptestet vilken består av värden för avverkning, yttjämnhet och glans.

Bilaga 2. Tabell med resultatet från verifieringstestet.

Ordförklaringar och översättningar

Frihetsgrad - Är en av de variabler som krävs för att definiera ett läge för en kropp i rymden.

Parallellrobot – Är en robot vars arm minst omfattar tre samverkande länkarmssystem.

CAGR – Förkortning av Compound Annual Growth Rate, på svenska genomsnittlig årlig tillväxt.

Abrasive – Sandpapper

Pressure – Tryck, beskriver trycket från roboten mot underlaget.

RPM – Förkortning av Rotational Per Minute, på svenska rotation per minut.

Speed – hastighet, beskriver den linjära hastigheten som roboten rör sig framåt.

Suction – utsug, beskriver utsuget från slipmaskinen till dammsugare.

Tool angle – verktygsvinkel, beskriver vinkeln mellan verktyget och underlaget.

Stock removal – Avverkningsmängd från en yta mätt i gram.

Surface roughness – Ytjämnheten.

Ra – Profilens genomsnittliga medelvärde för ytjämnhet.

Rz – Profilens genomsnittliga maxvärde.

Rt – Profilens totala höjd.

Gloss – Glans, värde som beskriver glansen på en yta.

Kartesiskt koordinatsystem – beskriver ett system med ett plan som består av en horisontell x-axel och en vertikal y-axel som skär varandra i rät vinkel.

TCP – Förkortning av Tool Centre Point, på svenska verktygscentrumpunkt. Beskriver origopunkten i verktygets koordinatsystem på en robot.

TCS – Förkortning av Tool Coordinate System, på svenska verktygskoordinatsystem.

DOF – Förkortning av Degrees Of Freedom, på svenska frihetsgrader.

DOE - Är en förkortning av Design Of Experiments, på svenska försöksplanering.

Collaborative robot – samarbetsrobot.

kPa – Förkortning av kilopascal, Pascal är SI-enheten för tryck.

USD – Förkortning av United States Dollars, på svenska amerikansk dollar.

Inc – Förkortning av Incorporation, på svenska inkorporering och är en organisationstyp vid bildandet av ett nytt företag.

1 Inledning

Mitt examensarbete skrevs under hösten år 2020 och slutfördes under våren 2021. Arbetets uppdragsgivare var Mirka Ab och arbetet utfördes för examinering som ingenjör inom huvudämnet maskin- och produktionsteknik.

1.1 Bakgrund

Inom produktutvecklingen vid Mirka övergår man allt mera från manuell slipning till robotapplikationer. Vid Mirka pågår nu en utveckling av dessa robotapplikationer där automatiseringen av slipprocesserna blir allt mera eftertraktade på marknaden. Robotapplikationen används för att kunna testa produkter på ett mera effektivt sätt och för att få ett jämnare slipresultat. De robotapplikationerna som idag existerar består av ett robotsystem med en av Mirkas slipmaskiner som man genom att ange ett rörelsemönster och olika parametrar kan effektivt och flexibelt utföra olika slipningsarbeten.

Under slutskedet av mitt andra år som sommarjobbare vid produktutvecklingen vid företaget Mirka blev jag erbjuden möjligheten till detta examensarbete. Från företaget sida ville man kunna utveckla och effektivera den nuvarande robotapplikationen.

För att kunna förbättra testmetoden låg det i företagets intresse att identifiera vilka faktorer som under slipprocessen hade störst inverkan på slipresultatet, vilket blev min uppgift i detta arbete.

1.2 Syfte

Mitt huvudsyfte med detta examensarbete var att klargöra vilka faktorer som påverkar slipresultatet med en robotapplikation och hur man kan optimera processen utifrån dessa faktorer. Samtidigt var syftet att öka kunskapen om robotslipning och hur man kan genom variationer i programmeringen av en robot förbättra slutresultat.

1.3 Mål

Examensarbetets mål var att analysera resultatet från en slipprocess och utgående från detta komma fram till vad som påverkar slipresultatet vid slipning med en robot. Som mål för arbetet var även att skapa ett effektivt och optimerat slipprogram för en robot genom att förbättra och optimera den tidigare existerande slipprocessen.

1.4 Avgränsningar

En avgränsning som vi tog var att vi begränsade oss till en robotapplikation på en robot i testlabbet vid Mirka. Robotapplikationen kan senare appliceras inom olika områden inom industrin.

Vid programmeringen gjordes en begränsning till vanligt förekommande värden på mätbara parametrar när det kommer till rotationshastighet, linjär hastighet, tryck, utsug och verktygsvinkel. I matrisen som användes vid sliptestet begränsade vi oss till 16 kombinationer av de tidigare nämnda parametrarna.

Som substrat att slipa på vid sliptestet avgränsades materialet till Solid Surface, en vanlig förekommande keramisk yta eftersom det fanns i företagets intresse att utöka kunskapen om hur slipprocessen fungerar på denna typ av substrat. För analysen av slipresultatet valdes en begränsning till mätning av avverkningen, ytjämnheten samt glansen på den slipade ytan.

Andra yttre faktorer som påverkar slipresultatet är luftfuktighet, damm och lufttemperatur vilka företaget redan har verktyg för att mäta in dess inverkan på slipresultatet vilket gjorde att vi inte beaktade dessa i detta arbete.

Utgående från marknadssituationen valde vi att begränsa oss till Mirkas produkt Abranet ACE efter diskussioner med Evald Lassus, Business Sector Manager på Mirka. Som referens valde vi en liknande produkt från en konkurrent. Vi avgränsade oss till grovleken på sandpappren till P120.

1.5 Företagspresentation Mirka Ab

Företaget Mirkas historia började år 1943 när det grundades av Onni Aulo i Helsingfors. Efter krigsåren i Europa mellan åren 1939–1945 startades produktionen på allvar och 1962 flyttade man produktionen till en fabriksfastighet i Jeppo. Under 1960-talet växte företaget när Oy Keppo Ab köpte Mirka och år 1973 fusionerades företagen. För att klara av att konkurrera på den internationella marknaden utvecklades företaget stegvis och växte till sig genom att produktion startades i Oravais, Karis, Italien och Jakobstad utöver den redan befintliga produktionen i Jeppo. (Mirka AB, 2020)

Idag ligger fortfarande huvudkontoret i Jeppo. Företaget erbjuder flexibla och dammfria sliplösningar enligt kundens behov. De tillverkar också slipmaskiner, poleringsprodukter samt tillbehör. Mirka har idag cirka 1500 anställda och fortsätter att växa. Företaget har 16 dotterbolag i olika länder och kunder över hela världen. År 2019 nådde man en årlig omsättning på cirka 297 miljoner euro. Exporten för Mirka är väldigt viktig där 97 % av producerade produkter exporteras utomlands. (Mirka AB, 2020)

Företaget har som motto: *“Dedicated to the finish”*, vilket innebär att man strävar efter att uppnå ett så bra resultat som möjligt genom hela processen från tillverkningen till slutdestinationen hos kunden. Vid Mirka arbetar man för en ständig utveckling och med målet att inneha en ledande roll på marknaden för flexibla slipmaterial. (Mirka AB, 2020)

Mirka är en del av den globala KWH-koncernen som är ett familjeägt finländskt företag som består av tre affärsområden. Utöver Mirka som är koncernens största affärsområde består koncernen av KWH Invest och KWH Logistics. KWH Invest består av företaget Prevox där man tillverkar vattenlås samt utöver Prevox har man strategiska aktieinnehav i Uponor infra. Det tredje affärsområdet är KWH Logistics som erbjuder tjänster för logistiklösningar. Till affärsområdet Logistics hör även frys- och kylagryngsutrymmen, stuveri samt hamnverksamhet i hela Finland. (KWH Group, 2020)



Figur 1. Mirkas logo. (Mirka AB, 2020)

1.6 Disposition

Nedan presenteras en kort beskrivning av vad kapitlen i detta arbete kommer att innehålla:

2. Teori, i detta kapitel presenteras den teoretiska delen av arbetet bestående av teoretisk information och kunskap som använts som grund för att uppnå önskat resultat. I denna del presenteras min teoretiska forskning, där jag bekantat mig med tidigare fakta inom ämnet.

3. Metodik, här presenteras tydligt vilka metoder vi valde för planeringsarbetet och för det praktiska utförandet som gjordes vid företaget.

4. Resultat, kapitlet innehåller tillvägagångssättet under arbetet och vilket resultat som uppnåddes under detta examensarbete.

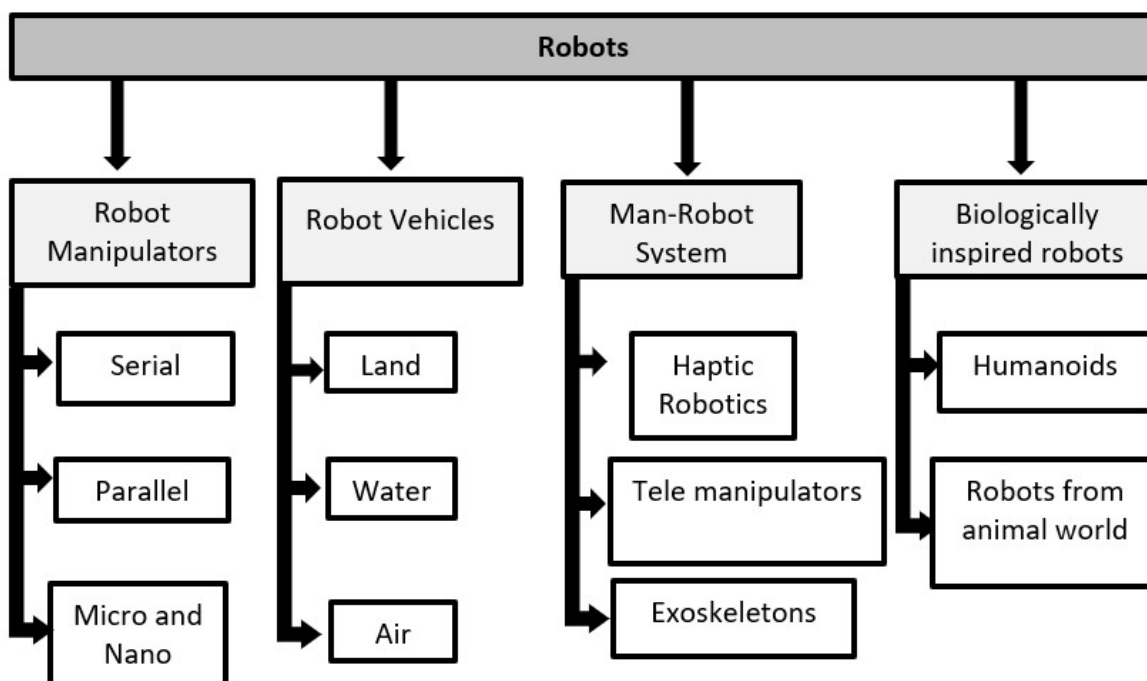
5. Diskussion, detta kapitel består av en analys av resultatet tillförlitlighet och vad man kunde gjort annorlunda. I diskussionen presenteras även mina egna synpunkter på arbetet och vad man i framtiden kan utveckla utgående från arbetet.

2 Teori

Mitt examensarbete inleddes med att jag läste in mig på ämnet slipning med robot. Arbetet med teoridelen bestod av att bekanta sig med tidigare forskning inom robotik, automation och matrismodeller som används när man kartlägger slipprocessers resultat. Teoridelen behandlar även allt det material som användes som bas för att programmera, analysera och optimera slipprocessen för roboten. I teoridelen presenteras även roboten och slipmaskinen som användes i fallstudien under detta arbete.

2.1 Robotteknik

En robot kan idag beskrivas som en vetenskap där man med en mekanism utför intelligenta och automatiska rörelser. Man delar in mekanismerna för en robot i fyra olika grupper; Robot manipulatorer, Robot fordon, Man-Robotsystem och Biologiska robotar. Från dessa huvudgrupper delar man sedan in robotarna i undergrupper utgående från deras uppbyggnader och egenskaper vilket framgår i schemat nedan (*Figur 2*). (Mihelj, o.a., 2019)



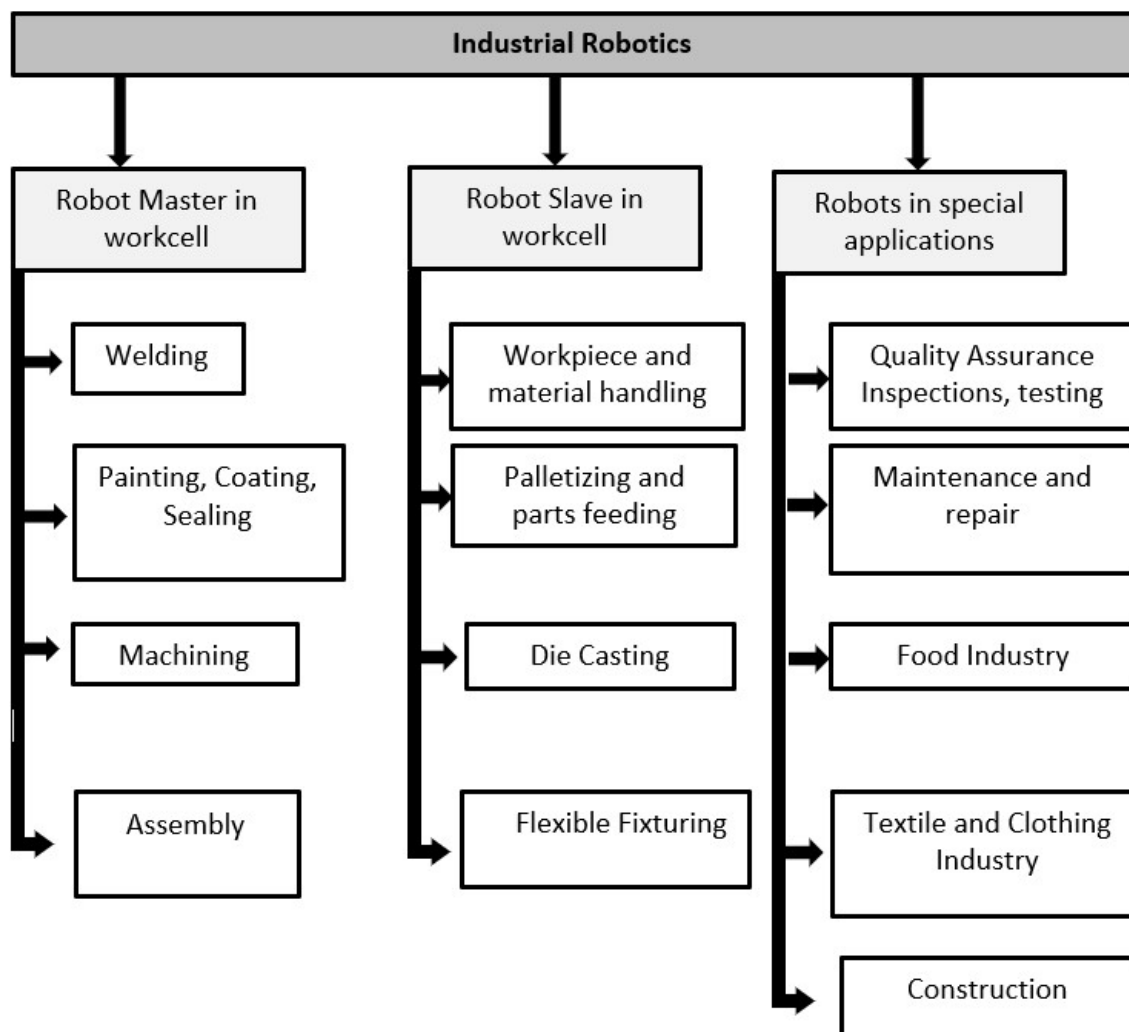
Figur 2. Klassificering av robotar. (Mihelj, o.a., 2019)

Robottekniken är en väldigt omfattande vetenskap som ständigt utvecklas. Jag har valt att fokusera på den industriella robottekniken och vad den grenen omfattar närmare i denna teoridel eftersom det är denna typ av robot som används i detta examensarbete.

2.2 Industriell robotteknik

Industriella roboten definieras enligt ISO standard som: *”Industrirobot eller robot är en automatisk styrd, omprogrammerbar universell manipulator som är programmerbar universell manipulator, som är programmerbar i minst tre axlar och som kan vara antingen fast monterad eller mobil för användning i industriell automatisering”*. (Bolmsjö, 2007, s. 39)

Man delar in de industriella robotarna i tre huvudgrupper med undergrupper enligt deras egenskaper och arbetsuppgifter, vilket presenteras i följande schema (Figur 3).



Figur 3. Industrirobot klassificering. (Mihelj, o.a., 2019)

En industrirobots viktigaste funktioner är att den skall vara automatiskt styrd, programmerbar och universell. Roboten skall vara programmerbar i minst tre servostyrda rörelseriktningar men i praktiken tillämpas minst fyra programmerbara axlar utöver verktyget som också skall vara programmerbart. Sammanfattningsvis betyder detta att roboten skall kunna förflytta ett verktyg i tre riktningar (x, y och z) och även rotera runt gripdonets symmetriaxel. Rörelser hos verktyget hör inte till robotens rörelseaxlar. (Bolmsjö, 2007)

Utöver de servostyrda rörelseriktningarna har en robot frihetsgrader som maximal kan vara sex till antalet. Frihetsgraderna beskrivs i ett kartesiskt koordinatsystem för verktyget och behövs för att bestämma ett objekts position i rymden när roboten skall förflytta objektet. (Bolmsjö, 2007)

För att roboten skall kunna orientera sig i rymden tillämpas sex dimensioner som tidigare nämnts. Tre parametrar beskriver roboten egna position och tre för var objektet befinner sig i relation till roboten. (Mihelj, o.a., 2019)

2.2.1 Industriella robotmarknaden

Marknaden för industriella robotar är inne i en tillväxt fas även om under 2019 det var en liten nedgång globalt förväntas tillväxten att fortsätta de kommande åren. Trender på marknaden är att användningen i logistikbranschen ökar samt förberedelser för övergång till Industri generation 4.0 bidrar till en ökad användning av robotar inom industrin. Marknadsvärdet för industriella robotar var globalt 21,83 miljarder USD år 2019 och förväntas växa till 66,48 miljarder USD fram till 2027. (Fortune Business Insights, 2020)

Av den globala marknaden 2019 stod Kina för 27 % av omsättningen och 45 % av levererade enheter. Marknadens fyra största tillverkare Fanuc, Yaskawa, ABB och Kuka stod för över hälften av globala marknaden under 2018. (Zhang, 2020)

2.3 Robotsystemets beståndsdelar

I denna del kommer jag att presentera de mest centrala delarna som ett robotsystem består av. Utöver systemets delar som direkt hör till roboten funktion som nämns nedan består ofta robotsystem av transportband, matarutrustning och rullband.

2.3.1 Manipulator

Definitionen för begreppet manipulator är följande: *”Manipulatorn är en maskin vars mekaniska uppbyggnad normalt består av en serie segment som sammanfogats genom led- och glidrörelser relativt varandra med uppgift att gripa och /eller förflytta objekt vanligen i flera frihetsgrader”*. (Bolmsjö, 2007, s. 40)

Idag är det mest effektiva och användbara robotsystemet inom industrin manipulatorer som kan ersätta mänsklig arbetskraft vid svåra eller monotona arbetsuppgifter. Manipulatorn består av tre samverkande delar vilka är; åkdon, arm och handled. (Bolmsjö, 2007)

Åkdonets uppgift är att förflytta roboten till arbetsområdet där man vanligen i industrin bygger upp åkdonet med rörelser i tre linjära riktningar. Robotens arm utför själva rörelsen och positioneringen av verktyget i rummet utgående från en programmerad arbetsoperation. Tredje delen på manipulatorens handled är handleden som orienterar verktyget, i vårt fall en fastmonterad slipmaskin. Manipulatorsystemet drivs av olika drivdon för att utföra rörelser. Drivdonen kan vara elektriska, hydrauliska eller pneumatiska. (Bolmsjö, 2007)

Orienteringen sker med en rotation beroende av armens position. För att definiera slipmaskinens rörelse definieras ett läge som kallas TCP, origo i koordinatsystemet för verktyget. TSC³ är ett koordinatsystem för verktyget vilket vanligen består av sex frihetsgrader inom orienteringen av verktyget kan göras fritt oberoende av handledens rörelser. (Bolmsjö, 2007)

2.3.2 Styrsystem

Styrsystemet har en central roll i hur robotsystemet fungerar. Dess främsta uppgift är att de kommandon och rörelser som programmerats utförs på korrekt sätt. Utöver detta innehåller styrsystemet många funktioner som bestämmer robotens arbetsätt. Styrsystemet fungerar som ett stöd för programmeringen av roboten, har kommunikation med sensorer eller annan dator och applikationsprogram. För styrsystemen är det väldigt viktigt att kunna reagera på data som förs in i realtid för att flexibelt kunna förändra de ursprungliga rörelserna som programmerats in. (Bolmsjö, 2007)

Till den fysiska uppbyggnaden består styrsystemen av ett styrskåp som innehåller en intern kylning och värmeväxlare. Uppbyggnaden är viktig för att säkerställa att elektroniken i skåpet inte skall ta skada av dammpartiklar, föroreningar eller fukt som kan finnas i industrimiljön. Styrsystemet består i huvudsak av en styrdator som styr manipulatorens dator av PC-typ för operatörskommunikation, och en I/O-hantering för att kommunicera med sensorer, maskinsystem och Ethernet. (Bolmsjö, 2007)

2.3.3 Sensorer

Robotsystem innehåller många typer av sensorer för att kunna kontrollera funktionen hos olika delsystem för att minska riskerna för allvarliga haverier och minimera tiden för att felsöka vid fel i systemet. Utöver detta möjliggör en kombination mellan industrirobotar och sensorer bättre fysiska möjligheter och förbättrar kapaciteten hos robotsystemet att reagera på händelser som det bör reagera på. (Bolmsjö, 2007)

Interna sensorer finns främst inom manipulatorsystemet och styrsystemet och används för att mäta tillståndet i robotsystemet, för att kunna kontrollera och styra robotens rörelser och funktion. Funktioner som kräver sensorer är framför allt larmsystem och rörelsefunktioner.

De vanligaste förekommande sensorerna är närhetssensorer med binära utgångar. Dessa sensorer kan vara induktiva, kapacitiva, optiska, magnetiska eller akustiska och ger signal när något befinner sig i deras avkänningsområde. (Bolmsjö, 2007) Andra sensorer som förekommer ger ut en analog signal för att robotsystemet skall kunna mäta avstånd, lägen, krafter eller avancerade mönster. (Bolmsjö, 2007)

En sensor med analog signal är Force/Torque sensorn, en sensor som mäter kraften mellan roboten och omgivningen. Sensorn möjliggör även att roboten kan stanna när en kontaktkraft överstiger en viss inställd nivå för att skydda roboten och omgivande föremål. Sensorn består av en töjningsmätare kopplad till en elastisk stråle som deformerar under tryck orsakat av en tillförd kraft. (Mihelj, o.a., 2019)

Sensorn placeras mellan robotens vrist och sliphuvudet för att kunna mäta med vilket tryck som slipmaskinen trycker mot ytan som skall slipas. Trycket vid slipningen är en central faktor där man vill uppnå ett jämnt tryck över hela föremålet för ett jämnt och bra slipresultat.

Strukturen i Force/Torque sensorn består av tre komponenter. Den första är en fast innerdel som håller fast sensorn på ändan av roboten. Andra delen är en yttering som är i kontakt med robotens omgivning och tredje delen inne i sensorn består av elastiska trådar som är kopplade till en töjningsmätare. När roboten kommer i kontakt med ett föremål deformerar trådarna av kraften vilket får resistansen i töjningsmätaren att öka. (Mihelj, o.a., 2019)

2.3.4 Verktyg

Verktyget är den del som fäst längts ut på manipulatorens handled och är konstruerad för att utföra själva robotsystemets arbetsuppgift. Man delar in verktygen enligt sina funktioner i tre huvudgrupper; gripdon, verktygsväxlare och processverktyg. Vid valet av verktyg bör man beakta flera faktorer såsom flexibilitet, kostnad och cykeltid. (Bolmsjö, 2007)

2.4 Collaborative robot

I takt med att användningen av robotar ökat i industrin har man utvecklat en ny typ av robotsystem som kallas Cobot, eller Corobot vilka är förkortningar av Collaborative robot. På svenska använder man namnet Samarbetsrobot och denna nya typ av robot skall fungera som en smidig medarbetare för ett aktivt samarbete mellan operatören och roboten. Målet under utvecklingen har varit att båda parternas starka sidor skall utnyttjas för att det gemensamma arbetets resultat skall bli så bra som möjligt. (Hentout, 2019)

Även om robotarna blir allt mera utvecklade och mera avancerade behövs det fortfarande en operatör som fysiskt programmerar roboten. Detta innebär att specificera arbetsuppgiften för roboten, vilket alltid har varit den svåraste och mest tidskrävande delen av implementeringen av roboten i industrin. Här kommer samarbetsroboten in för att underlätta arbetet för operatören. Samarbetsroboten är nästa steg både för fysisk och virtuell utveckling av robotsystem inom industrin. (Brown & Pearson, 2018)

Inom robotsystem i industrin finns det många dokument om säkerhetsmätningar och praktiska tester för allmänna robotimplementeringar. För mera komplexa system finns det få forskningar om hur man löser utmaningar för att automatisera en specifik arbetsuppgift. Den viktigaste forskningen som gjorts för att lösa detta kallas för det öppna källkodsoperativsystemet, på engelska Robotic Operating System eller ROS-system. ROS-systemet fokuserar på kommunikationen mellan verktyg, sensorer och utomstående programvara. (Brown & Pearson, 2018)

Med samarbetsrobotar kan man integrera nya säkerhetsstandarder och metoder för den nya generationen av robotar och genom att ersätta äldre robotar med nya samarbetsrobotar kan man uppfylla de nya säkerhetsstandarderna. Tidigare har man

använt ett säkerhetsövervakande stopp bestående av någon mekanism som säkerställer att robotens servo är avstängd eller att roboten är låst i ett visst läge när operatören fysiskt kan komma i kontakt med roboten. Coboten har en säkerhetsövervakning som gör att så länge inte roboten rör på sig kan man fritt gå in på arbetsområde utan att stänga ner roboten eller utföra någon låsningsprocedur. (Brown & Pearson, 2018)

Med en handstyrd Samarbetsrobot som används i detta arbete kan operatören direkt påverka roboten genom att för hand föra roboten till önskad position utan att stänga av robotens servomotorer. Detta snabbar upp programmeringsarbetet för operatören avsevärt. Utöver snabbheten är detta även användbart när man använder en robotarm med axlar som lätt kan bli påverkade av gravitation, vilket i vanliga fall skulle kräva kraft för att bibehålla sin position. (Brown & Pearson, 2018)

En Cobot utnyttjar hastighets- och separeringsövervakning vilket möjliggör att operatören kan röra sig fritt på robotens arbetsyta även när den är i rörelse så länge ett definierat säkerhetsavstånd upprätthålls. Om säkerhetsavståndet som operatören programmerat in bryts kommer roboten att utföra ett skyddande stop. Man använder sig av ett effekt- och kraftbegränsande säkerhetssystem i roboten vilket konstrueras så att om operatören fysiskt kommer i kontakt med roboten med en viss kraft när den är i rörelse stannar roboten. (Brown & Pearson, 2018)

Designen av Collaborative roboten består av lätta material och delar vilket minskar på energiförbrukningen under arbetsprocessen. En annan fördel med den lätta vikten är att de blir flexibla och smidiga att flytta. Genom att installera Coboten på ett flyttbart bord med hjul går det flexibelt och smidigt att flytta den vid behov. (Mihelj, o.a., 2019)

Marknaden för Collaborative Robotar stod för en liten del av den totala industriella robotmarknaden, närmare sagt 7,3 % mätt i omsättning och 6,8 % av levererade enheter under 2019, men förväntas ha den snabbaste tillväxten fram till 2023. Man förväntar en tillväxt som skall nå upp till en andel på 11,7 % av levererade produkter fram till år 2023 där mängden årligen har en genomsnittlig tillväxt på 26,2 % under tidsperioden 2017–2023. En växande trend är ökningen av mindre kompakta robotar med lyftkapacitet på under 10 kg, där andelen Cobots med lyftkapacitet under 10 kg beräknas vara 82 % fram till år 2023. (Zhang, 2020)

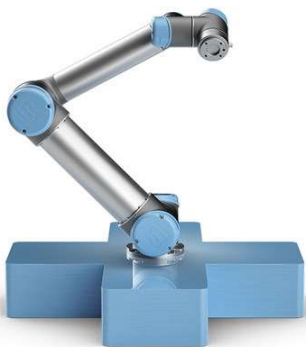
2.4.1 Universal Robots

Universal Robots grundades 2005 av tre studerande i Danmark med målet att göra robottekniken tillgänglig för små- och medelstora företag. År 2008 sålde man sin första Collaborative robot av modellen UR5 som var en pionjär inom användarvänlig 3D-programmering för att snabbt och enkelt kunna bygga upp och använda den. Den större modellen UR10 kom ut 2012 för att klara av större arbeten med en lyftkapacitet på 10 kg. (Universal Robots, 2020)

Roboten som användes i detta examensarbete var av modellen UR10e. Modellen UR10e är en del av e-serien som lanserades 2018 för att bidra med en högre precision, sensitivitet och bredare appliceringsmöjligheter. Utöver dessa egenskaper innehåller e-serien nya säkerhetsfunktioner där man kan programmera in en tid för att stoppa roboten och specificera ett säkerhetsavstånd för när roboten skall stanna. Med e-serien får man med en inbyggd Force/Torque-sensor i vristen, en större teach pendant med högre resolution och en ny programvara. (Universal Robots, 2020)

Modellen UR10e är med sina 6-axlar väldigt flexibel och höga lyftkapacitet idealisk för lyft, packning och testprocesser i industrin. Totalvikten för roboten är 33,5 kg och den har en lyftkapacitet på 10 kg. Roboten har en hög räckvidd på upptill 1300 mm och med en liten basyta som har en diameter på 190 mm kräver roboten inget stort underlag att stå på.

Under 2015 köptes Universal Robots av företaget Teradyne, Inc. Företaget Teradyne har haft en stadig tillväxt och sysselsätter idag omkring 5500 anställda. Under 2020 låg företaget på en omsättning omkring 3,1 miljarder USD. (Teradyne, 2020)



Figur 4. UR10e. (Universal Robots, 2020)

2.4.2 Universal Robots Academy

För att lära sig att programmera och använda en robot utan att fysiskt vara vid roboten har de flesta industrirobottillverkare skapat egna simuleringsprogram. Universal Robots har skapat ett övningsprogram som man kallar Universal Robots Academy, vilket innehåller online moduler med målet att ge användare en lättillgänglig plattform för att lära sig använda deras robotar oavsett tidigare erfarenhet av robotik. Modulerna består av vanligt förekommande applikationer i industrin där man får en bred insyn i hur man kan använda roboten.

Utbildningen består av övningar med varierande svårighetsgrad med inledande basövningar följt av mera avancerade programmeringsövningar där man lär sig använda programmeringsskript, industriell kommunikation och programvara. Vid slutet av utbildningsprogrammen får man diplom som intygar att man klarat av övningarna. (Universal Robots, 2020)

2.5 Programmering

En viktig egenskap som robotar har är deras programmerbarhet. För att ett robotsystem skall kunna utföra en önskad arbetssekvens krävs en korrekt och flexibel programmering. Vid programmeringen av roboten är det viktigt att tänka på vilka egenskaper som är viktiga för roboten, arbetsverktygets placering och säkerheten. Vid programmeringen definieras hur styrsystemet skall styra roboten.

Det finns idag både On-line och Off-line programmering. On-line programmering innebär att man utför programmeringen i huvudsak direkt med hjälp av själva robotsystemet medan Off-line programmering innebär att man programmerar med hjälp en extern dator och sedan överför programmet till roboten. (Bolmsjö, 2007) I detta examensarbete användes On-line programmering för programmeringen av slipprogrammen.

2.6 Slipning

Denna del kommer att innehålla teori om slipning som sådan med en beskrivning av den traditionella manuella slipningen och övergången till robotslipning. Som källa för detta valdes att använda en intervju med några väldigt erfarna inom branschen vid Mirka. De personer som intervjuades var; Ville Paussu, Team-leader; Tomas Sjöberg, Application Development Manager och Evald Lassus, Business Sector Manager.

2.6.1 Manuell slipning

Idag utförs den största delen av manuella slipningen genom användning av en handslipmaskin, där Mirka kom ut med sin första handslipmaskin år 2007. Man börjar processen med att välja ut en lämplig maskin för ändamålet där man beaktar maskinens rotationshastighet, vikt och storlek. Efter det utvärderar man vilka krav och mål som ställs på slipprocessens slutresultat.

Man utgår sedan ifrån den utvärderingen när man väljer ut vilka sandpappersmodeller och grovlekar som man skall använda. Grovlekarna ordnas på en skala enligt grovleken på sandkornen som används. Skalan består av en bokstav och numror där desto högre tal innebär finare sandpapper. Sandpappersmodellerna delas in enligt deras egenskaper och funktion på olika material och enligt vilka applikationer de lämpar sig för. Eftersom varje yta är unik och ställer olika krav har man skapat ett brett sortiment av sandpappersmodeller samt tillbehör med olika egenskaper för att alltid kunna skapa en så optimal slipprocess som möjligt. (Paussu, Sjöberg, & Lassus, 2021)

När man jämför manuell slipning med robotslipning finns det både fördelar och nackdelar med båda. En fördel med manuell slipning är snabbheten och flexibiliteten. Manuell slipning lämpar sig därmed för små partier och icke serieproduktion. Nackdelarna med manuell slipning är arbets säkerheten och kvalitetsvariationer. Slipprocesser är ofta monotona arbetsuppgifter som ständigt skall upprepas vilket blir tungt för operatören samtidigt som man alltid får vissa variationer i slipresultatet. Detta gör att man inte uppnår till samma kravnivå med manuell slipning som med robotslipning. (Paussu, Sjöberg, & Lassus, 2021)

2.6.2 Automatiserad robotslipning

Genom att automatisera slipprocessen kan man öka produktiviteten, kvaliteten och säkerheten. Med robotslipning får man en mera pålitlig slipprocess med lägre variationer än vid manuell slipning. En robot kan arbeta effektivt dygnet runt på samma sätt oavsett arbetsuppgiften. Investeringen av ett robotsystem har en snabb tillbaka betalningstid främst för företag med slipprocesser inom serieproduktion och slipprocesser som ständigt upprepas, vilket bidrar till att man i slutändan en förmånligare arbetsprocess. (Pausu, Sjöberg, & Lassus, 2021)

Eftersom slipning med robot är ett väldigt nytt ämnesområde finns det väldigt lite facklig text inom området, där det pågår en kontinuerlig utveckling. Vid Mirka tog man i bruk sin första robot från ABB år 2007 och sedan dess har man utvecklat lämpliga slipmaskiner och slipprogram för olika robotsystem. År 2017 kom man ut med sin första slipmaskin för robotslipning, modellen Airos som beskrivs i kapitel 2.6.3. (Pausu, Sjöberg, & Lassus, 2021)

Efter att man valt vilken robottyp och slipmaskinen som skall användas blir nästa steg att välja ut lämpliga parametrar för slipprocessen. Parametrarna väljs utgående från kraven som ställs på slutresultatet. Parametrarna som man främst fokuserar på är slipmaskinens vinkel mot ytan som skall slipas, slipmaskinens rotationshastighet och robotens linjära rörelsehastighet. Övriga parametrar som är viktiga för slipresultatet är trycket mellan slipmaskinen och ytan samt utsuget av damm från slipmaskinen till dammsugaren. (Pausu, Sjöberg, & Lassus, 2021)

Andra faktorer som påverkar valet av robotparametrar är substratets form och material som skall slipas. Formen har en stor inverkan på hur slipprocessen skall planeras, om ytan är plan eller har kurvor ställer olika krav. Ytans känslighet bör man även beakta när man väljer parametrar där till exempel för högt tryck mellan slipmaskinen och ytan kan orsaka skador hos föremålet. (Pausu, Sjöberg, & Lassus, 2021)

För att kunna anpassa slipprocessen enligt olika storlekar på ytorna har man utvecklat olika storlekar på underlagsplattor. För att slipa ytor som kan vara svåråtkomliga har man utvecklat en underlagsplatta med en diameter på endast 77 mm. Övriga storlekar på underlagsplattor som erbjuds är 125 mm och 150 mm. (Mirka, 2020)

Sammanfattningsvis för all slipning vid Mirka är det kundens krav som står i fokus för planeringen av slipprocesserna oavsett om det är manuell slipning eller slipning med robot. Från kundens sida vill upp få en så billig lösning som möjligt som uppnår de krav man har på resultatet vilket avgör hur man planerar och skapar lämpliga slipprocesser. (Paussu, Sjöberg, & Lassus, 2021)

2.6.3 Airos-serien

Slipmaskinserien Airos har utvecklats för att vara lätt integrerad och klara av de hårda krav som ställs inom olika industrier. Mirka Airos är det första intelligenta sliphuvudet för robotslipning och är en del av lanseringen av världens första automatiserade industriella program som möjliggör avancerad robotslipning inom industrin. (Mirka, 2020) Det finns tre modeller av Airos för integrering med Universal Robots kit: AIROS 350CV 77mm, AIROS 550CV 125mm och AIROS 650CV 150mm. (Mirka, 2020)

Fördelarna med Mirkas Airos är att den är utvecklad för användning på alla typer av ytor, slipprocessen är väldigt flexibel med kommunikation mellan maskinen och kontrollenheten med data i real tid vilket gör det enkelt för operatören att styra slipprocessen. Andra fördelar är konstant och anpassningsbar rotationshastighet, den är damm- och vattentät samt har kompakt uppbyggnad. Alla dessa faktorer skapar en sliputrustning som kräver minimalt med underhåll och bidrar till en lång livstid. (Mirka, 2020)



Figur 5. Mirka Airos 650CV. (Mirka Ab, 2020)

2.7 Six Sigma

Six Sigma är en strategi som ofta används inom organisationer för att förbättra tillverkningsresultat och minska antalet defekta produkter. Six Sigma har utvecklats för att förbättra effektiviteten hos olika företagsverktyg och tekniker och har visats sig kunna implementeras framgångsrikt inom slipningsbranschen. (Behrooz & Latifi, 2018)

Det finns flera definitioner för Six Sigma men en gemensam faktor för dessa är att man strävar efter att minimera förluster och maximera vinster i en produktionsprocess. En definition på Six Sigma är en kvalitetsnivå på 3,4 defekter per en miljon producerade produkter eller tjänster. Principen för Six Sigma utgår från en ekvation: $Y = f(X) + \varepsilon$, där Y står för resultatet du önskar eller kräver, X representerar ingången för att uppnå Y , f är funktionen som beskriver processen från ingången till utgången och ε står för mängden fel som förekommer. (Gygi, DeCarlo, & Williams, 2005)

Verktyget Six Sigma tillämpades för första gången år 1986 av företaget Motorola och har under åren utvecklats till ett av de mest effektiva verktygen att förbättra ett företags affärsverksamhet. Six Sigma är baserat på ett samarbete mellan tillverkare och kunden för att lösa problem. (Behrooz & Latifi, 2018)

Vid Mirka arbetar man med Six Sigma för att finna optimala sliplösningar åt sina kunder. Inom en bransch med växande konkurrens blir det allt viktigare upprätthålla en ständig förbättring av kvaliteten, sänkning av kostnader och ständig utveckling. Alla dessa faktorer är viktiga för Mirka och som ett verktyg använder man Six Sigma. I praktiken går detta ut på att man identifierar vilka svaga punkter som finns inom en process och utgående från dessa utarbetar ett tillvägagångsätt för att stärka dessa svaga punkter för att kunna förbättra produktionen och servicen. (Behrooz & Latifi, 2018)

Strategin som namnet antyder består av sex steg för att förbättra en process. Dessa sex steg är definiera, mäta, analysera, ändra, förbättra och till slut kontrollera. I det första steget definierar man kundens behov och vilken typ av slippprocess det handlar om. I detta skede ställer man också upp vilka mål man vill uppnå inom projektet. I nästa skede gör man mätningar som består av att utvärdera kraven i den första delen och utgående från dessa göra tester, undersöka och analysera resultaten för att uppnå ställda krav på slipresultatet. (Behrooz & Latifi, 2018)

I den tredje delen, analysen skall man identifiera och undersöka grundorsaken till problemet och utgående från detta utveckla en lösning. I nästa skeden förbättrar man processen utgående från vad man identifierat i de tidigare skedena. Till sist kontrollerar man att önskat resultat har uppnåtts under förbättringsprocessen. (Behrooz & Latifi, 2018)

2.7.1 Taguchi-serien

Är en matrismodell som skapades av japanske ingenjören Genichi Taguchi. Han utvecklade sin metod under 1950- och 1960-talet för att uppnå både hög kvalitet och billiga designlösningar. (Institute of management services, 2020)

Under 1980-talet spreds idéerna som Taguchi tagit fram till västvärlden där han främst blev känd i USA. Men bland många av de västerländska statistikerna uppstod det även en kritik som baserades sig på att metoden var onödigt komplicerad. Metoden ansågs till en början vara oförståelig för människor som inte hade doktorandexamen inom matematik. (Liberto, 2019)

Parameterdesignen bestämmer den mest lämpliga, optimerade uppsättningen av parametrar för en process. Den optimala sammansättningen av parametrar skapas genom att identifiera inställningarna för varje parameter som minimerar variationen på produkternas prestanda. (Institute of management services, 2020)

Man använder ofta denna metod inom forskning och utveckling vid företag i planerings- och design skedet av produkter för att minska defekter bland tillverkade produkter. Idag tillämpas metoden i flera stora tillverkningsföretag inom industrin, framför allt biltillverkare runtom i världen. (Liberto, 2019) Eftersom ett viktigt ändamål för robotapplikationen som utvecklats under detta examensarbete är industrin var denna matrismodell en lämplig metod att använda.

2.7.2 DOE-matrismodell

DOE-matrismodellen är ett av de mest använda verktygen för utveckling, optimering av processeffektivitet och för kvalitetsoptimering av olika produkter inom flera industrier. (Costa, 2019)

På den moderna marknaden ökar kundernas krav på företagens produkter och service vilket bidrar till att trycket på företagens användning av effektiva metoder för kvalitetsgranskning ökar. Viktiga faktorer som man analyserar är leveranstid och kvalitetsnivån genom hela processen från planering till leverans av en produkt till kunden. (Costa, 2019)

2.8 Minitab

Minitab är en programvara som man kan använda för att statistiskt analysera kvaliteten på en process. Kvalitetsmätningen utgår från hur stor mängd av produkterna eller servicen vilken uppnår kundens krav. Målsättningen som Mirka och andra tillverkare har är att minska mängden defekta produkter och att kunna tillverka så stor mängd som möjligt enligt ställda krav.

Minitab erbjuder olika metoder för att bedöma av kvaliteten på en åtgärd kvalitativt och kvantitativt samt bestämma dess osäkerhet. Programmet innehåller statistiska verktyg, kontrollgrafer, kvalitetsplanering, process- och pålitlighetsförmåga. Kontrollgraferna kan man använda för att övervaka hur stabil en process är och för att identifiera avvikelser inom samma process. (Zanobini, 2015)

3 Metoder

Arbetet inleddes med en gemensam planering av vad som skulle uppnås med detta examensarbete. Det gjordes en analys av vilka slipprodukter samt substrat som skulle vara mest lämpade att använda sig av i fallstudien.

En utmaning vi hade var att kunna testa tillräckligt många kombinationer av parametrar inom en rimlig tidsplan och ändå uppnå ett tillförlitligt resultat. För att klara av detta valdes att inleda fallstudien med att i Minitab programvara, skapa en matrismodell bestående av en slipserie med olika kombinationer av parametrar. Matrisen överfördes till verktyget Excel och bestod av sexton utföranden med varierande kombinationer av parametrar. Parametrarna bestod av sandpappersmaterial, tryck, rotationshastighet, linjärhastighet, utsugstryck och verktygsvinkel.

För att roboten skulle kunna utföra slipserien behövdes en lämplig programmering av roboten. För detta skapades totalt fyra slipprogram. Två program med en planvinkel mot underlaget vilket innebar för roboten 180 graders vinkel på verktyget. Ett av programmen med planvinkel mot underlaget hade en linjär hastighet på 100 mm/s medan detta andra hade linjära hastigheten 200 mm/s. I de två övriga programmen programmerade en halvgrads vinkel mot underlaget, i matrisen nämnt som 179,5 grader. För jämförbarhetens skull gjordes slipprogrammen tidsmässigt lika långa, cirka 55 sekunder där de två programmen med hastigheten 100 mm/s bestod av två loopar över hela skivan medan de med hastigheten 200 mm/s innehöll fyra loopar över hela skivan.

Efter att slipprogrammen var färdigt programmerade utfördes praktiska sliptestet enligt matrismodellen. Vid sliptestet observerades hur slipmaskinen arbetade och hur effektivt material avlägsnades i relation till förändringen av ytjämnheten på den slipade ytan. Skivan som användes under testet var av materialet Solid Surface, en keramik yta med storleken 180x720 mm.

Till sist analyserades slipresultaten med Minitab, genom att analysera vilka parametrar som inverkat mest på slipresultatet och hur man kunde optimera slipprocessen. Utgående från denna analys skapades tabeller och grafer i Minitab och Excel, vilka presenteras i resultatdelen.

3.1 Skolning

Från början av mitt sommarbete vid Mirka fick jag bekanta mig med slipprocesserna som man utförde med robotarna vid Mirka. För att själva kunna programmera slipprogram fick jag tillgång till Universal Robot Academy där jag utförde deras online moduler. Efter detta skolades jag in på användningen av Mirka Airos 650CV och säkerhetsmanualen för Universal Robot UR10e.

3.2 Utrustning

Robotsystemet som valdes för den praktiska fallstudien bestod av följande delar:

- Universal Robot UR10e
- Mirka Airos 650 CV
- Vention mobila arbetsstation
- Mirka dammsugare 1230 M AFC
- Sandpapper Abranet ACE P120
- Sandpapper från konkurrent P120

3.3 Matrismodellförslag 1

I Minitab fördes alla parametrar in som skulle testas och programmet skapade sedan en matris (*Tabell 1*) som användes som utgångspunkt vid utförandet av det praktiska sliptestet. Från företagets sida fanns intresset att inte offentliggöra vilken konkurrents produkt som användes, därav har företagets namn täckts över.

Tabell 1. Matrismodellförslag för praktiska sliptestet.

RunOrder	CenterPt	Blocks	Abrasive	Pressure [N]	Rotational speed [rpm]	Speed [mm/s]	Suction [kPa]	Tool angle [°]
1	1	1	Mirka	60	8000	200	5	179,5
2	1	1		40	8000	100	5	179,5
3	1	1		60	10000	200	5	180
4	1	1	Mirka	60	10000	100	2	179,5
5	1	1		60	8000	100	2	180
6	1	1		60	10000	100	5	179,5
7	1	1		40	8000	200	5	180
8	1	1		60	8000	200	2	179,5
9	1	1		60	10000	200	2	180
10	1	1	Mirka	40	8000	200	2	180
11	1	1	Mirka	40	10000	200	5	179,5
12	1	1	Mirka	60	8000	100	5	180
13	1	1		40	10000	100	2	180
14	1	1	Mirka	40	10000	100	5	180
15	1	1		40	10000	200	2	179,5
16	1	1	Mirka	40	8000	100	2	179,5

3.4 Mätutrustning

För att kontrollera nivån på utsuget från slipmaskinen till dammsugaren användes en tryckmätare av modellen *Series 2000 Magnehelic* från tillverkaren Dwyer Instrument International. Under sliptestet användes två olika utsugsmängder, två och fem kPa.



Figur 6. Bild av luftryckmätaren.

Ytjämnheten på den slipade ytan mättes av en *Mitutoyo SJ-310*, efter första sekvensen för varje prov. Mätningen bestod av tre mätpunkter som gav ett medeltal på Ra-, Rz- och Rt-värde vilka beskriver profilens ytjämnhet.



Figur 7. Bild av Mitutoyo SJ-310. (Mitutoyo U.S.A, 2021)

En glansmätare av modellen *Elcometer* användes för att mäta glansen på ytan efter varje slipsekvens.



Figur 8. Bild av glansmätaren.

Vågen som användes för att mäta avverkningen efter varje slipsekvens var av modellen *Mettler Toledo ICS 425*. Mätningen bestod av att mäta skivans vikt före varje slipsekvens och efter sekvensen mäta igen för att identifiera förändringen av vikten.



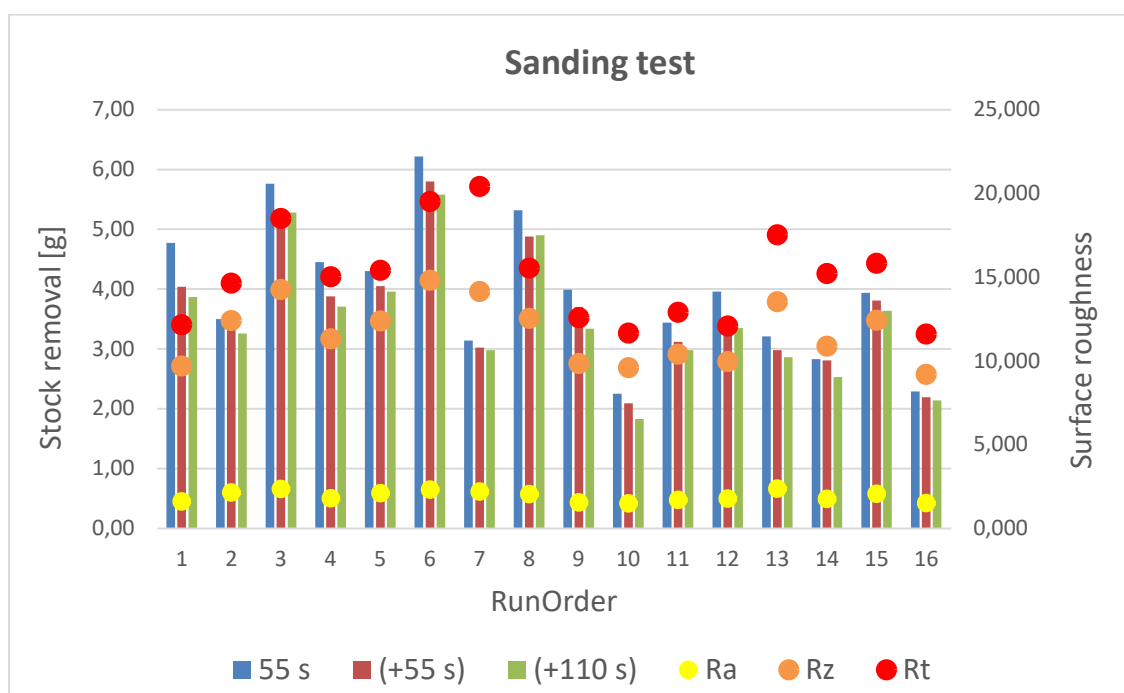
Figur 9. Bild av vågen som användes.

4 Resultat

Nedan kommer resultatet av detta arbete att presenteras. Resultatdelen består av grafer, tabeller med data och analyser från sliptestet. Fullständiga resultattabellen från fallstudien presenteras under bilagor. Avslutningsvis presenteras en optimerad robotapplikation utgående från vad jag kommit fram till under detta examensarbete samt en resultatdiskussion med en kritisk analys av resultatets tillförlitlighet och förbättringsförslag.

Resultaten från sliptestet fördes in i Minitab där det analyserades och skapades grafer över resultatet. Genom att använda DOE-verktyget i Minitab kunde jag skapa regressionsberäkningar som presenteras i denna resultatdel, för att få fram den optimala slipprocessen. Eftersom glansen hade en så låg variation togs den inte med i regressionsberäkningen eller beaktades för den optimerade robotapplikationen.

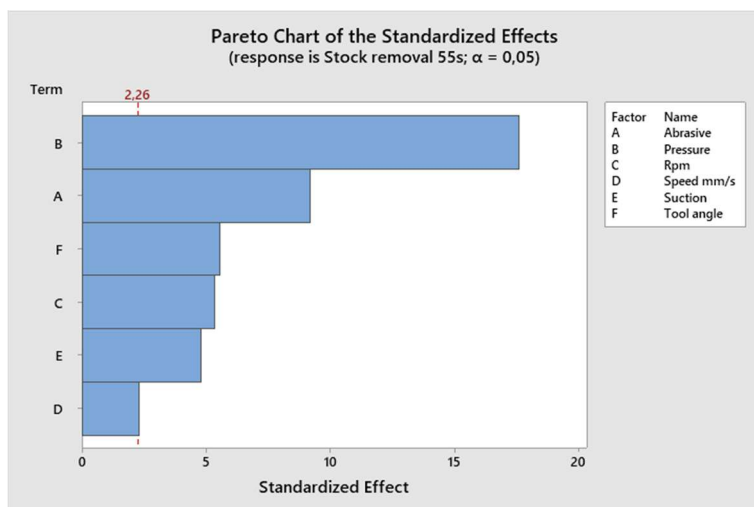
Först presenteras en graf (*Figur 10*) över resultatet från sliptestet som utfördes baserat på matrisen som presenterades i kapitel 3.3. I grafen kan man avläsa hur värdena för avverkningen och ytjämnheten varierar mellan de 16 parameter kombinationerna.



Figur 10. Bild av graf med resultatet från sliptestet.

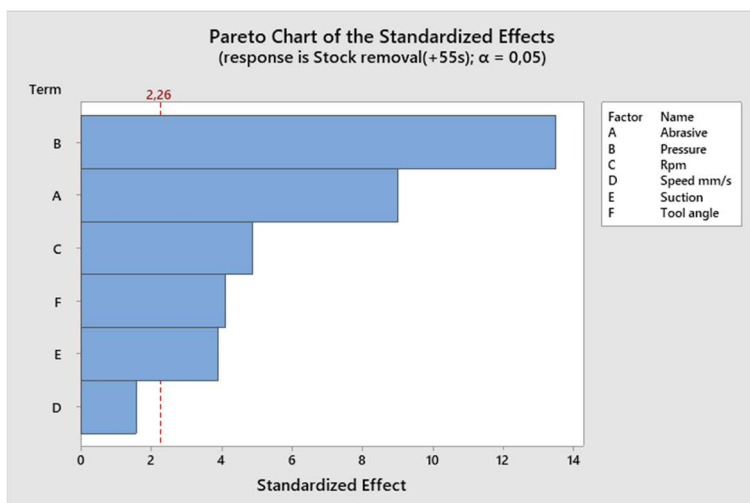
4.1 Faktoriell regression

Figur 11 är ett paretodigram som beskriver hur de olika parametrarna inverkar på avverkningen under den första slipsekvensen på 55 sekunder. De parametrarna som överstiger den röda streckade linjen har en betydande inverkan på resultatet medan de övriga inte har en tydlig inverkan. Man kan avläsa att alla parametrarna har en betydande inverkan förutom linjära hastigheten. Man kan konstatera att överlägset störst inverkan har trycket mot underlaget vilket innebär att genom att variera värdet på trycket får man största inverkan på resultatet för avverkningen.



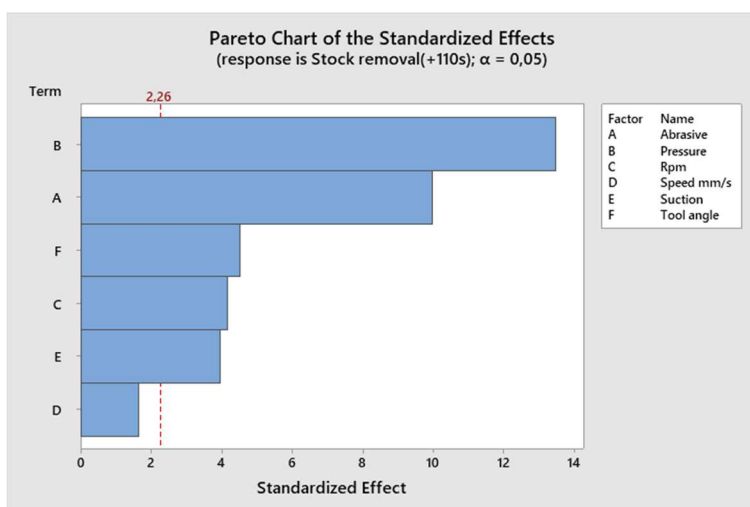
Figur 11. Diagram över parametrarnas inverkan på slipresultatet under första sekvensen.

Figur 12 beskriver hur parametrarna inverkar på avverkningen under den andra sekvensen med att slipa ytterligare 55 sekunder med samma förhållanden. Man kan avläsa att det är samma parametrar som har en betydande inverkan på resultatet som i den första sekvensen. Man kan dock se att sandpapprets inverkan har ökat fast trycket fortfarande har klart störst inverkan på resultatet. I övrigt är det väldigt jämnt mellan de andra parametrarnas inverkan på avverkningen även under denna sekvens.



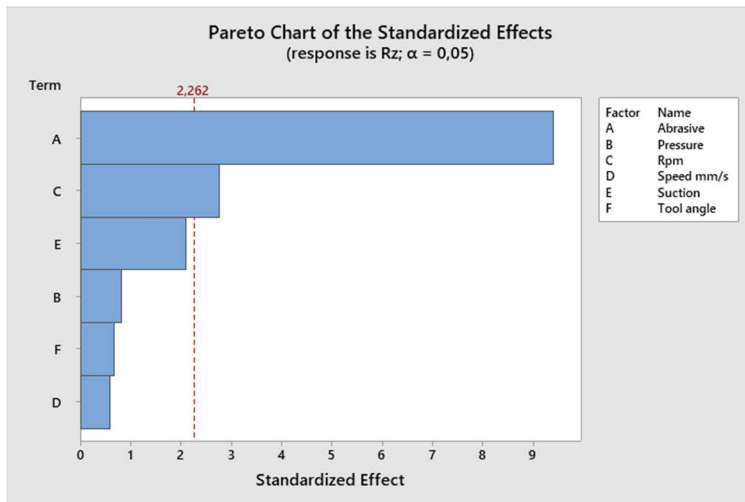
Figur 12. Diagram över parametrarnas inverkan på slipresultatet under andra sekvensen.

Figur 13 beskriver hur parametrarna inverkar på avverkningen under den tredje sekvensen med att slipa ytterligare 55 sekunder med samma förhållanden. Man kan avläsa att det är samma parametrar som har en betydande inverkan på resultatet som i den andra sekvensen.



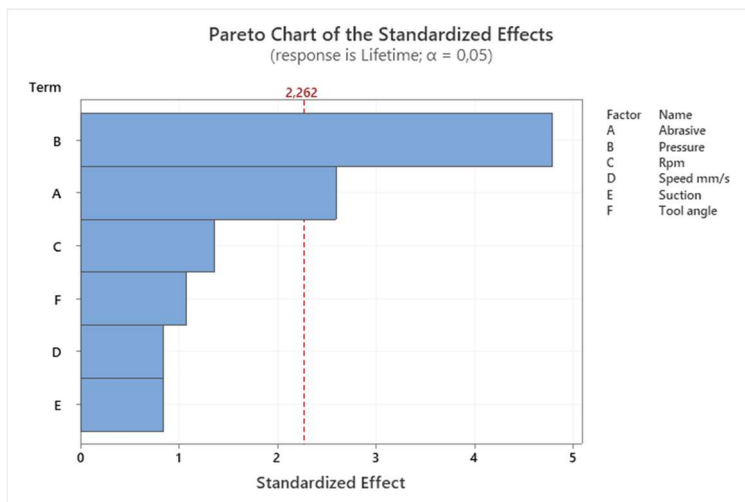
Figur 13. Diagram över parametrarnas inverkan på slipresultatet under tredje sekvensen.

Efter detta fokuserades analysen på ytjämnheten. För detta skapades samma regressionsberäkning för Rz-värdet som för avverkningen vilket åskådliggörs i Figur 14. Man kan konstatera att endast sandpappret och varvtalet har en betydande inverkan på profilens genomsnittliga maxvärde där sandpappret har den överlägset största inverkan.



Figur 14. Diagram över parametrarnas inverkan på ytjämnheten under första sekvensen.

En viktig egenskap hos ett sandpapper är livslängden, alltså tiden som sandpappret slipar effektivt. För att beakta detta för slipprocessen beräknades skillnaden mellan avverkningen efter första sekvensen med den tredje sekvensen. För skillnaden utfördes sedan samma regression som presenteras i *Figur 15*. Man kan avläsa att trycket och sandpappret har en betydande inverkan på resultatet för livslängden.

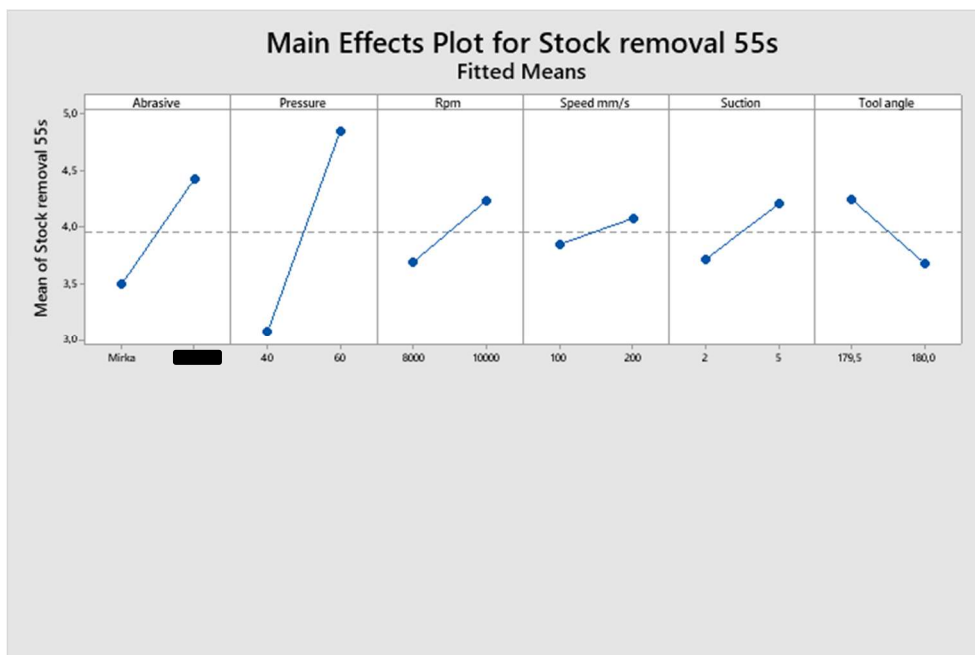


Figur 15. Diagram över parametrarnas inverkan på livslängden på sandpappret.

4.2 Faktoriella grafer

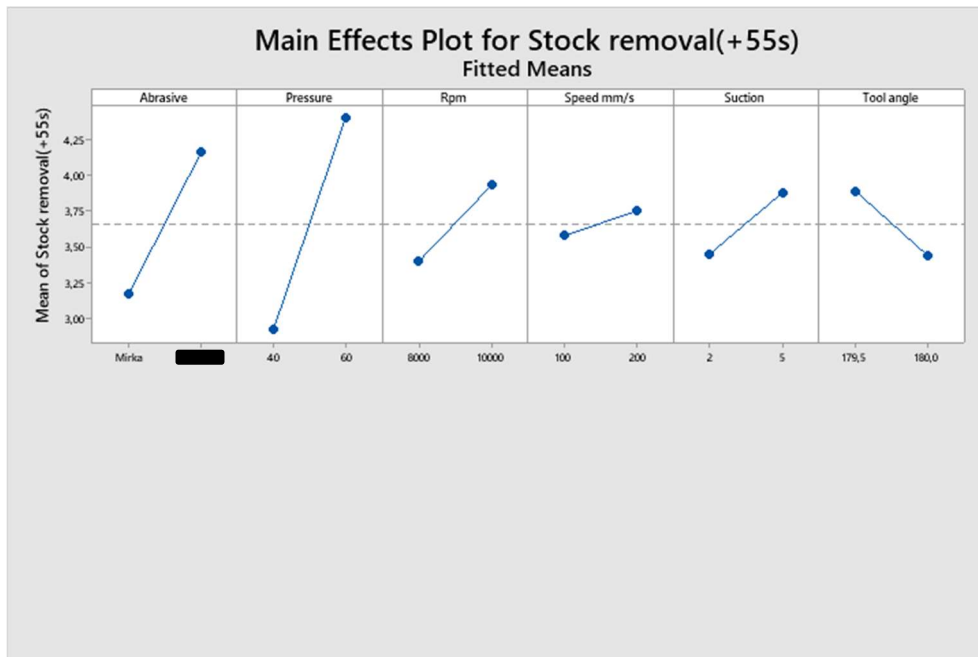
För att få en tydligare bild av hur parametrarna i jämförelse med varandra påverkade resultatet skapades faktoriella grafer i Minitab. I *Figur 16* kan man se hur parametrarna i inbördesordning har påverkat avverkningen under den första slipsekvensen.

De värdena på övre sidan av den streckade linjen ger ett högre värde och desto längre avståndet är mellan ändpunkterna på parametrarnas linjer desto större är inverkan på variationen i resultatet. Genom att avläsa ur grafen kan man se att trycket ger den största effekten på variationen för avverkningen.



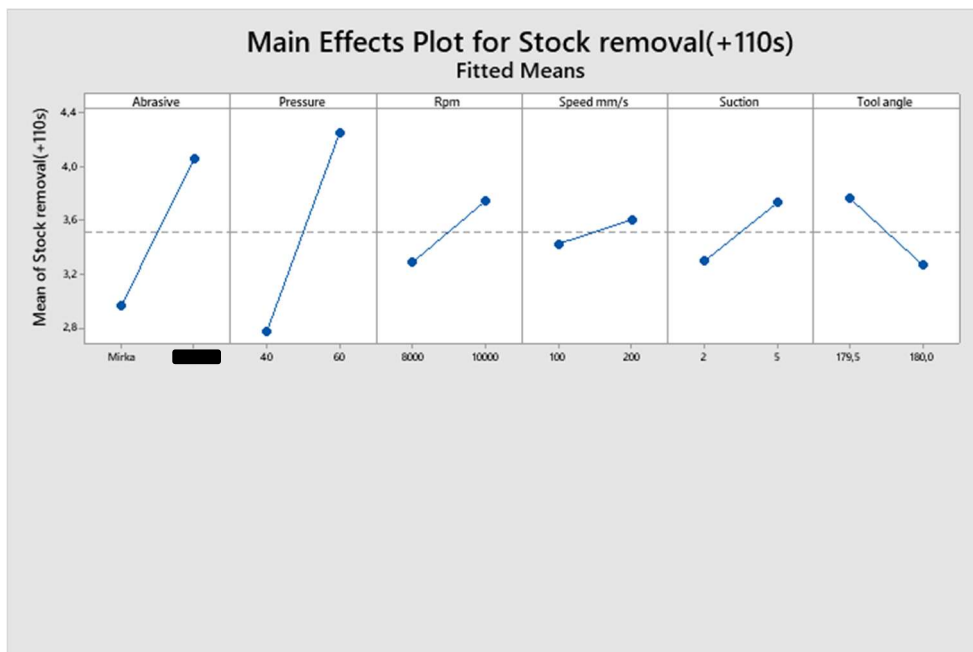
Figur 16. Graf för avverkningen under första sekvensen.

I *Figur 17* kan man se hur parametrarna i inbördesordning har påverkat avverkningen under den andra slipsekvensen. I grafen framgår det tydligt att det är trycket som har största inverkan på resultatet samtidigt som sandpapprets effekt på variationen har ökat.



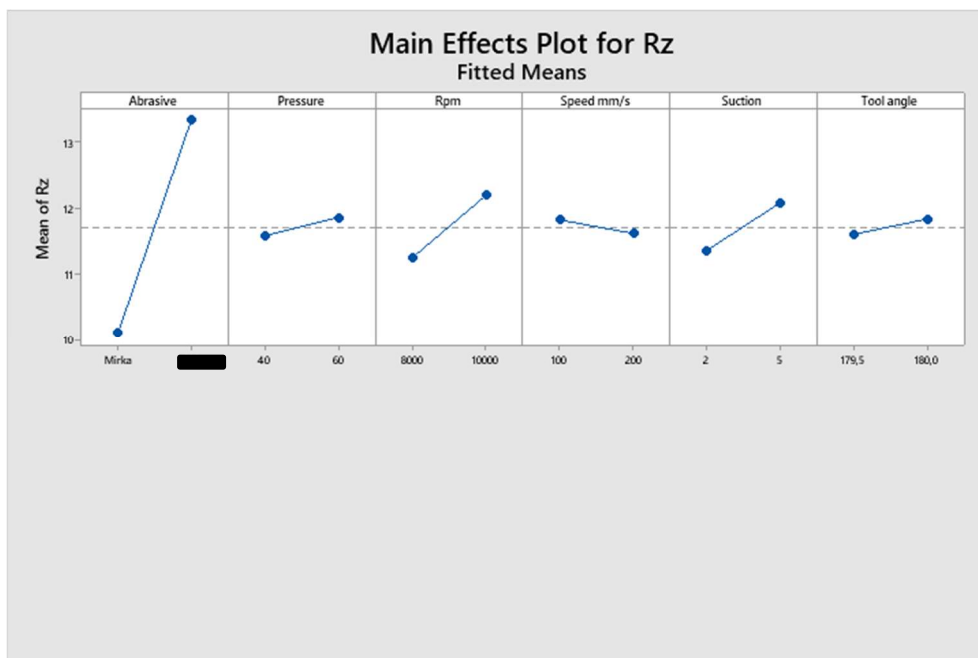
Figur 17. Graf för avverkningen under andra sekvensen.

I Figur 18 kan man se hur parametrarna i inbördesordning har påverkat avverkningen under den tredje slipsekvensen. Man kan avläsa att alla sekvenserna har väldigt lika värden för alla parametrar vilket underlättar analysen av resultatet.



Figur 18. Graf för avverkningen under tredje sekvensen.

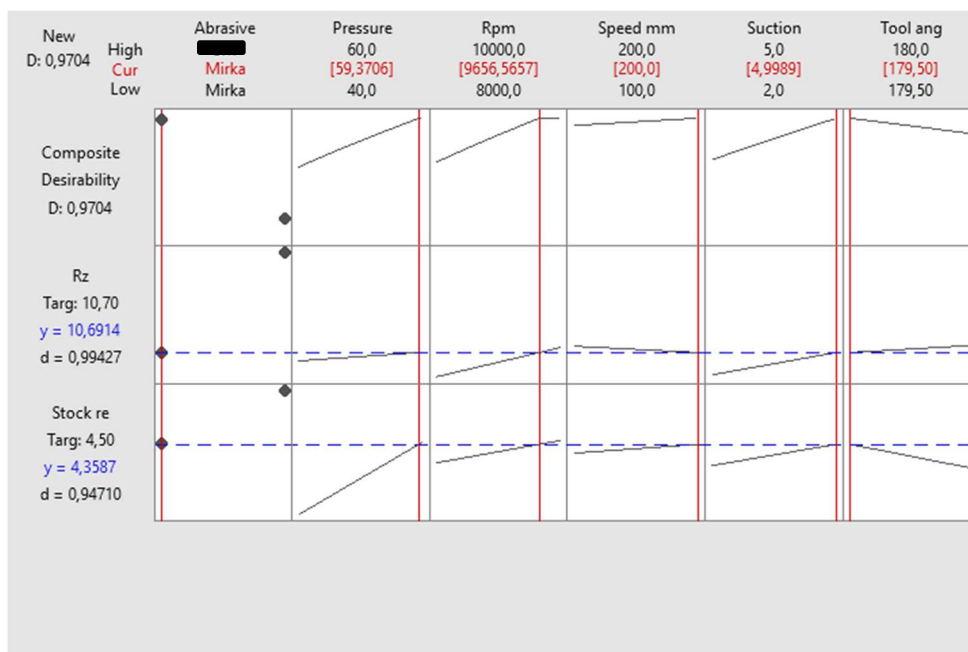
I *Figur 19* kan man se hur parametrarna i inbördesordning har påverkat Rz-värdet under den första slipsekvensen. Man kan se att ytjämnheten påverkas mest av vilket sandpapper man använder. Ett lägre värde får man med Mirkas produkt vilket innebär att ytan är jämnare medan med produkten från konkurrenten får man ett högre Rz-värde.



Figur 19. Graf för Rz-värdet under den första sekvensen.

4.3 Optimeringsgraf

Genom att i Minitab välja att maximera avverkningen och minimera ytjämnhetens Rz-värde, kunde man skapa en optimeringsgraf för dessa förhållanden. I optimeringsgraf som presenteras nedan (*Figur 21*) kan man konstatera att den optimala kombinationen av parametrar skulle bestå av ett Mirka sandpapper, trycket mot underlaget skulle vara 59 N, varvtalet 9700 rpm, hastigheten 200 mm/s, utsug 5,0 kPa och vinkeln på slipmaskinen 179,5 grader, alltså 0,5 graders vinkel mot underlaget.



Figur 20. Graf som beskriver optimala parameter förhållandet.

Avläser man värdena i vänstra balken som beskriver felmarginalen med dessa parametrar kan man se att sammanfattningsvis borde kombinationen uppnå målet med cirka 97 % säkerhet, alltså med en felmarginal på cirka 3 %. Felmarginalen för målet av Rz-värdets minimivärde är cirka 1 % och samma värde för maximala avverkningen ligger på nära 5 %. Med så låga felmarginaler så kommer optimeringsvärdena framtagna i Minitab med stor sannolikhet ligga väldigt nära de resultat man når även vid praktiska sliptest.

Genom att använda dessa parametrar borde man få den mest optimerade slipprocessen med högsta avverkningen och lägsta möjliga Rz-värde. För att ännu verifiera detta resultat som Minitab har gett oss kördes en serie för att verifiera resultatet.

Detta test kördes med de optimala parametrarna som Minitab gett ut för att se att vi uppnår de värden för avverkningen och ytjämnheten som programmet anger. Eftersom parametervärdena inte går att ställa in så exakt som Minitab ger så valdes ut två förslag med kombinationer som låg så nära den optimala kombinationen som möjligt. För verifieringen valdes att köra två gånger vardera kombinationen och sedan räkna ett medelvärde av resultatet för dessa. Nedan presenteras bild tabellen för verifieringstestet (Tabell 2).

Tabell 2. Matrismodell för verifieringstestet.

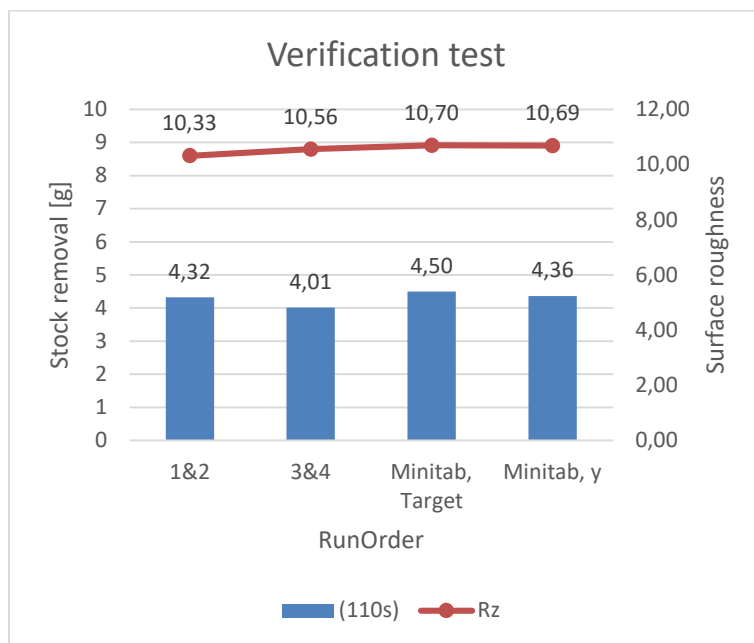
RunOrder	CenterPt	Blocks	Abrasive	Pressure [N]	Rotational speed [rpm]	Speed [mm/s]	Suction [kPa]	Tool angle [°]
1	1	1	Mirka	60	10000	200	5	179,5
2	1	1	Mirka	60	10000	200	5	179,5
3	1	1	Mirka	59	9500	200	5	179,5
4	1	1	Mirka	59	9500	200	5	179,5

Fullständiga tabellen med slipresultatet från verifieringstestet presenteras under bilagor. För att jämföra slipresultatet vid verifieringstestet och värdena från Minitab beräknades medelvärdet för avverkningen under tredje sekvensen samt Rz-värdet mellan RunOrder ett och två samt tre och fyra. Bild av tabellen för detta presenteras i *Tabell 3*.

Tabell 3. Medelvärden för avverkningen och ytjämnheten från verifieringstestet.

RunOrder	Stock removal [g]	Surface roughness
	(+110s)	Rz
1&2	4,32	10,33
3&4	4,01	10,56
Minitab, Target	4,50	10,70
Minitab, y	4,36	10,69

För att förtydliga resultatet presenteras en graf över resultatet från verifieringstestet nedan i en graf (*Figur 21*).



Figur 21. Resultat från verifieringstestet.

Man kan konstatera att avverkningen för RunOrder, körorder ett och två ligger väldigt nära det uppskattade y-värdet från Minitab medan Rz-värdet ligger lite under beräknade y-värdet från Minitab. För körorder tre och fyra ligger däremot avverkningen lite under y-värdet medan Rz-värdet ligger närmare det givna värdet från Minitab.

Man kan konstatera att det finns en viss avvikelse mellan verkligheten och teoretiska värdena från programmet. Det är väldigt vanligt att detta förekommer och man kan kommentera resultatet med att vi letade en helhetsbild med medeltal över vad som skapar variationer och inte specifika avvikelser.

För att sammanfatta resultatet skapades en tabell med det förslag som valdes till den mest optimala robotapplikationen för detta användningsområde enligt det som kommit fram under detta arbete. Bild av tabellen presenteras nedan (*Tabell 4*).

Tabell 4. Optimerade robotapplikationen.

RunOrder	CenterPt	Blocks	Abrasive	Pressure [N]	Rotational speed [rpm]	Speed [mm/s]	Suction [kPa]	Tool angle [°]
1	1	1	Mirka	60	10000	200	5	179,5

4.4 Resultatdiskussion

Man kan se att genom att använda olika parametrar kan man uppnå stora variationer i avverkning, ytjämnhet och livslängd. För företag som vill automatisera sin slippprocess är det därför av yttersta vikt att använda en optimerad kombination av parametrar för att investeringen skall maximalt utnyttjas. Resultatet från mitt test visar att man kan fördubbla sin avverkning genom använda rätt kombination av parametrar.

Hela optimeringsprocessen gick smidigt att utföra och en användbar modell skapades. Denna optimering anser jag uppfyller uppgiftens syfte och uppbyggandet av optimeringen är tillsammans med min handledare vid Mirka Ab omsorgsfullt gjord.

Som förbättringsförslag till detta arbete skulle vara att använda sig av en mera omfattande matris med flera parametrar och kombinationer. Eftersom trycket mot underlaget har den största inverkan på avverkningen skulle ett förslag vara att ytterligare öka trycket för att se hur slipmaskinen fungerar och om slipresultatet förbättras.

4.5 Förslag till fortsatt forskning

I framtiden kunde man forska i hur man kunde utveckla robotapplikationen för andra substrat samt sandpappersmodeller- och grovlekar. Man kunde även i framtiden använda andra robotmodeller för att se hur robotapplikationen påverkas av att användas med olika robotsystem. Robotapplikationen kan i framtiden användas för vidare forskning med andra slipmaskiner och med andra storlekar på underlagsplattor på slipmaskinen.

Detta arbete kan i framtiden användas som grund för applicering av robotapplikationer inom industrin och för vidare utveckling av andra testmetoder och projekt. Slipning med robot är ett område under ständig utveckling och det finns mycket att forska vidare inom ämnet för att finna nya lösningar och optimerade robotapplikationer.

5 Diskussion

Under detta arbete har jag lyckats analysera vilka parametrar som hos ett robotsystem påverkar ett slipresultat och utgående från dessa parametrar optimerat slipprocessen. Resultat blev en optimerad robotapplikation för att nå en så hög avverkning som möjligt i relation till en så jämn yta som möjligt.

Det som gick bra under arbetet var att man kunde tydligt se vilka parametrar som har en betydande påverkan på resultatet vilket bidrog till en klarhet i hur man skulle optimera processen. Bra fungerade även kommunikationen under arbetet med mina handledare och jag fick ständigt stöd och hjälp av mina medarbetare vid Mirka för att uppnå ett lyckat slutresultat.

Om jag skulle göra om detta arbete skulle jag testa och jämföra flera produkter, grovlekar på sandpapper och substrat för att få en bredare inblick i vad som kan påverka slipresultatet.

Detta examensarbete har breddat min kunskap om robotsystem och slipning med robot. Jag har lärt mig mera om programmering av robotar, hur man kan analysera resultatet för en slipprocess och hur man kan utgående från analysen skapa en optimerad robotapplikation.

Jag vill tacka min handledare Tomas Sjöberg och övriga medarbete inom produktutvecklingen vid Mirka Ab och min handledare Tobias Ekfors vid Novia för att jag fått möjligheten till detta examensarbete.

6 Källförteckning

- Aalst, W. v. (den 14 5 2018). Robotic Process Automation. *Springer Link*.
- Behrooz, N., & Latifi, M. (2018). Development of Six Sigma methodology to improve grinding processes. *Emerald Insight*, 9(1), 50-63.
- Bolmsjö, G. S. (2007). *Industriell roboteknik* (3:2 uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- Brown, S., & Pearson, H. A. (2018). A Collaborative Framework for Robotic Task Specification. *ScienceDirect*, 17, 270-277.
- Costa, N. (2019). Design of experiments - overcomer hindances and bad practices. *The TQM Journal*, 31(5), 772-789.
- Fortune Business Insights. (2020). *Market Research Report*. Fortune Business Insights.
- Gygi, C., DeCarlo, N., & Williams, B. (2005). *Six Sigma for dummies*. Indianapolis: Wiley Publishing Inc.
- Hentout, A. (2019). Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008-2017. *Advanced robotica*, 33(15-16), 764-799.
- Institute of management services. (2020). *Taguchi Methods*. Hämtat från <https://www.ims-productivity.com/page.cfm/content/Taguchi-Methods/> den 9 10 2020
- KWH Group. (den 1 10 2020). *Affärsgrupper*. Hämtat från KWH Group: <https://www.kwhgroup.com/sv/affarsgrupper/> den 01 10 2020
- Liberto, D. (2019). Taguchi method of Quality Control. *Investopedia*.
- Mihelj, M., Lenarcic, J., Ude, A., Bajd, T., Stanovnik, A., Munih, M., . . . Slajpah, S. (2019). *Robotics* (2nd uppl.). Ljubljana: Springer.
- Mirka. (2020). *Airos*. Hämtat från <https://www.mirka.com/sv/airos/> den 1 10 2020
- Mirka AB. (den 1 10 2020). *Företaget*. Hämtat från Mirka: <https://www.mirka.com/sv/fi/top/About-us/>
- Mirka Ab. (den 9 4 2020). *Nya Mirka AIROS är det första intelligenta sliphuvudet för robotslipning*. Hämtat från https://www.mirka.com/sv/fi/top/FI-SE_News/mirka-airos/ den 23 10 2020
- Mitutoyo U.S.A. (2021). *Surftest SJ-310 Series 178-Portable Surface Roughness Tester*. Hämtat från <https://ecatalog.mitutoyo.com/Surftest-SJ-310-Series-178-Portable-Surface-Roughness-Tester-C1823.aspx> den 3 3 2021
- Paussu, V., Sjöberg, T., & Lassus, E. (den 17 3 2021). Manuell slipning och robotslipning.
- Teradyne. (2020). *Teradyne*. Hämtat från <https://investors.teradyne.com/> den 3 12 2020

- UiPath. (2017). *Robotic Process Automation*. Hämtat från https://www.uipath.com/rpa/robotic-process-automation?utm_source=GoogleSearch&utm_medium=cpc&utm_term=uipath-e&utm_content=353179569550&utm_campaign=DG19GMQ den 23 10 2020
- Universal Robots. (2020). *Universal Robots*. Hämtat från <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/our-history/> den 3 12 2020
- Zanobini, A. (2015). Using MINITAB software for teaching measurement uncertainty. *Journal of physics: Conference Series*, 588(1), 1-6.
- Zhang, J. (2020). *The Industrial Robot Market - 2019*. Interact Analysis.

Bilagor

Bilaga 1. Tabell med resultatet från sliptestet vilken består av värden för avverkning, ytjämnhet och glans.

RunOrder	Stock removal (g)			Surface roughness			Gloss		
	55s	(+55s)	(+110s)	Ra	Rz	Rt	55s	(+55s)	(+110s)
1	4,77	4,04	3,87	1,615	9,690	12,162	1,3	1,4	1,4
2	3,50	3,37	3,26	2,141	12,410	14,649	1,1	1,2	1,2
3	5,76	5,32	5,28	2,355	14,260	18,509	1,1	1,1	1,3
4	4,45	3,88	3,71	1,804	11,313	15,021	1,3	1,2	1,3
5	4,30	4,05	3,96	2,100	12,397	15,409	1,1	1,1	1,1
6	6,22	5,80	5,58	2,323	14,826	19,519	1,1	1,2	1,2
7	3,14	3,02	2,98	2,198	14,154	20,418	1,2	1,2	1,2
8	5,32	4,88	4,90	2,053	12,535	15,539	1,1	1,1	1,2
9	3,99	3,70	3,34	1,545	9,841	12,590	1,2	1,2	1,3
10	2,25	2,09	1,83	1,489	9,606	11,667	1,3	1,3	1,4
11	3,44	3,12	2,98	1,696	10,402	12,901	1,3	1,3	1,3
12	3,96	3,52	3,35	1,772	9,970	12,075	1,3	1,3	1,4
13	3,21	2,98	2,86	2,380	13,546	17,533	1,1	1,2	1,2
14	2,83	2,81	2,53	1,753	10,878	15,225	1,2	1,2	1,3
15	3,94	3,81	3,64	2,069	12,424	15,834	1,1	1,1	1,2
16	2,29	2,19	2,14	1,514	9,195	11,597	1,2	1,3	1,3

Bilaga 2. Tabell med resultatet från verifieringstestet.

RunOrder	Stock removal [g]			Surface roughness		
	55s	(+55s)	(+110s)	Ra	Rz	Rt
1	5,30	4,46	4,30	1,833	10,863	13,430
2	5,03	4,49	4,34	1,414	9,789	12,109
3	4,70	4,14	3,90	1,611	9,872	12,838
4	4,92	4,29	4,12	1,772	11,243	14,730