



CHALMERS



Undersökning av fördelarna med en automatiserad blästringsprocess

Framtagning av en prototyp för att undersöka hur en automatisk blästringsprocess påverkar anställdas dagliga arbete

Examensarbete inom högskoleprogrammet Maskinteknik

AUGUST CHRISTENSEN OCH ELLINOR JANSSON

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2023

www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2023

Undersökning av fördelarna med en automatiserad blästringsprocess

Framtagning av en prototyp för att undersöka hur en automatisk
blästringsprocess påverkar anställdas dagliga arbete

AUGUST CHRISTENSEN
ELLINOR JANSSON



CHALMERS

Institutionen för Industri och Materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2023

Undersökning av fördelarna med en automatiserad blästringsprocess
Framtagning och konstruktion av en prototyp för att undersöka om en automatisk
blästringsprocess påverkar anställda i deras dagliga arbete
August Christensen och Ellinor Jansson

© AUGUST CHRISTENSEN, ELLINOR JANSSON, 2023.

Handledare: Erica Salvetti, Volvo Autonomous Solutions
Handledare: Per Nyqvist, Industri och Materialvetenskap
Examinator: Björn Johansson, Industri och Materialvetenskap

Examensarbete 2023
Institutionen för Industri och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Prototyp för att blästra metallplåtar.

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2023

Sammanfattning

Blästring är en bearbetningsmetod vars syfte är att ta bort rost och andra orenheter från ett material. Processen utförs oftast manuellt av en operatör vilket är både en repetitiv och slitsam arbetsuppgift. Avsikten med detta examensarbete var att utvärdera huruvida en automatiserad blästringsprocess kan förbättra anställdas arbetsmiljö samt effektivisera det vardagliga arbetet inom industrin.

För att utföra studien lät gruppen designa och tillverka en prototyp för automatiserad blästring där tester, experiment och intervjuer användes som underlag för att besvara frågeställningen. All tillverkning av både manipulator och kontrollsystem utfördes i Volvo Autonomous Solutions Concept Vehicle Lab, med undantag för bland annat motorer och motordrivare som köptes in från leverantör.

Under projektet undersöktes det hur en prototyp kan integreras i ett befintligt blästerskåp samt hur den kan konstrueras för att uppnå önskad funktion i smutsiga miljöer. Arbetet resulterade i en fungerande prototyp som integrerades i ett blästerskåp på Volvo Autonomous Solutions där de anställda fick möjlighet att testköra prototypen samt delta i intervjuer där fokus låg på arbetsmiljö och maskinens prestanda.

Underlag för vidareutveckling, en komplett bruksanvisning samt en riskanalys skapades för att kunna använda maskinen i de anställdas vardagliga arbetet samt för att ge tillräckligt med underlag för att möjliggöra framtida förbättringar.

Nyckelord: Blästring, automatiserad blästring, prototyp, blästringsrobot.

Summary

Blasting is a machining method whose purpose is to remove rust and other impurities from a material. The process is usually carried out manually by an operator, which is both a repetitive and labor-intensive task. The aim of this thesis was to evaluate whether an automated blasting process can improve employees' working environment and streamline everyday work in the industry.

To conduct the study, the group designed and manufactured a prototype for automated blasting, using tests, experiments, and interviews as a basis to answer the question at issue. All manufacturing of both the manipulator and control system was done at the Volvo Autonomous Solutions Concept Vehicle Lab, with the exception of components such as motors and motor drivers, which were purchased from suppliers.

During the project, the integration of a blasting machine into an existing blasting cabinet, as well as the design of a machine to achieve the desired function in dirty environments was examined. The work resulted in a functioning prototype that was integrated into a blasting cabinet at Volvo Autonomous Solutions, where employees had the opportunity to test-drive the prototype and participate in interviews focusing on the working environment and machine performance.

Basis for further development, a complete user manual, and a risk analysis were created to ensure safety and to enable the use of the machine in employees' everyday work as well as provide sufficient groundwork for future improvements.

Keywords: Blasting, prototype, automatic blasting, blasting robot.

Förord

Detta är resultatet av ett examensarbete genomfört av två högskoleingenjörstudenter på maskintekniksprogrammet från Chalmers tekniska högskola under våren 2023. Arbetet är gjort på uppdrag av Volvo Autonomous Solutions och genomfördes på institutionen för Industri och Materialvetenskap.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Erica Salvetti på VAS, som tillsammans med resterande personal på avdelningen Concept Vehicle Lab har stöttat oss i vårt arbete samt fått oss att känna oss välkomna. Vi vill även tacka vår handledare Per Nyqvist och examinator Björn Johansson på institutionen för Industri och Materialvetenskap för deras vägledning och goda råd.

August Christensen och Ellinor Jansson
Göteborg, Juni 2023

Begreppslista

VAS	Volvo Autonomous Solutions
Robot	En automatiserad maskin som ersätter människan i att utföra vissa arbetsuppgifter
Programmerbar manipulator	En enhet som är till för att manipulera material utan direktkontakt av operatören
BoM	Bill of Material
Stegmotor	En borstlös DC motor som delar upp ett varv i jämna steg
FEM	Finita elementmetoden
Visual Studio	En utvecklingsmiljö skapad av microsoft, används för att programmera, och debugga mjukvara
PronterFace	Ett program för maskinkontroll
PWM	Pulse width modulation
Open source	Källkod som är tillgänglig för användning samt editiering
Rapid prototyping	Snabb prototypframställning med till exempel 3D-skrivare.

Innehåll

Akronymer	ix
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställning	3
2 Teoretisk referensram	5
2.1 CAD	5
2.1.1 3D-modellering	5
2.1.2 Tekniska ritningar	5
2.1.3 FEM/ Finita element metoden	5
2.1.4 Assemblys	5
2.2 Blästring	6
2.3 Industrirobotar som hjälpmedel	6
2.4 ISO-standarder	6
2.5 Styrssystem	6
2.5.1 Mikrokontroller	6
2.5.2 Kontrollbräda	7
2.5.3 Motorer och motordrivare	7
2.5.4 HMI	8
2.6 Linjär bältesdrivning	8
3 Metod	9
3.1 Problemdefinition	9
3.1.1 Kravspecifikation	9
3.2 Utveckling av prototyp	9
3.2.1 Konceptgenerering	9
3.2.1.1 Brainstorming	9
3.2.1.2 Utvärdering av existerande lösningar	10
3.2.2 Konceptutveckling	10
3.2.2.1 Val av komponenter och BoM	10
3.2.2.2 Framtagning i CAD	10
3.2.2.3 Utveckling av styrning	10
3.2.3 Hållfasthetsanalys	10

3.3	Tillverkning av prototyp	11
3.3.1	Tillverkningsmetoder	11
3.4	Tester av prototypen	11
3.5	Undersökning och kvalitativ intervju med anställda	11
3.6	Kompletterande dokumentation	12
3.6.1	Risakanalys	12
3.6.2	Enklare bruksanvisning och underhållsmanual	12
3.6.3	Ritningar	12
4	Resultat	13
4.1	Prototyp	13
4.1.1	Mekanik	13
4.1.2	Elektronik	17
4.1.3	Experiment	18
4.1.3.1	Experiment 1: motorer, bälten och skydd	19
4.1.4	Experiment 2: lilla rörsystemet och hjul	19
4.1.4.1	Experiment 3: arbetsyta	20
4.1.4.2	Experiment 4: Skydd	21
4.1.4.3	Experiment 5: Rekylkraft	21
4.2	Beräkningar	22
4.2.1	FEM-analys	22
4.2.2	Beräkningsunderlag för komponentval	23
4.2.2.1	Motorer	23
4.2.2.2	Rekylkraft	23
4.2.2.3	Glidlager	24
4.3	Undersökning	24
4.4	Kompletterande dokumentation	26
4.4.1	Risakanalys	26
4.4.2	Ritningar	27
4.4.3	Bruksanvisning och underhållsmanual	27
5	Reflektion	29
5.1	Diskussion	29
5.2	Vidareutveckling	31
5.2.1	Skydd	31
5.2.2	Metod för linjär rörelse	32
5.2.3	Förslag på BoM vid vidareutveckling	32
5.3	Slutsats	32
	Bibliography	35
	A Bill of Material	I
	B Protokoll från experiment	III
B.1	Protokoll från experiment med motorer, bälten och skydd	III
B.1.1	Genomförda tester	III
B.1.2	Testtrigg	III

B.1.3	Hur har det testats	III
B.1.4	Resultatet av testerna	IV
B.1.5	Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet	IV
B.2	Protokoll från experiment med lilla rörsystemet och hjul	V
B.2.1	Genomförda tester	V
B.2.2	Testrigg	V
B.2.3	Hur har det testats	VI
B.2.4	Resultatet av testerna	VI
B.2.5	Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet	VI
B.3	Protokoll från experiment med arbetsyta	VII
B.3.1	Genomförda tester	VII
B.3.2	Testrigg	VII
B.3.3	Hur har det testats	VII
B.3.4	Resultat av testerna	VII
B.3.5	Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet	VIII
B.4	Protokoll från experiment med skydd y-axel	VIII
B.4.1	Genomförda tester	VIII
B.4.2	Testrigg	VIII
B.4.3	Hur har det testats	IX
B.4.4	Resultat av testerna	IX
B.4.5	Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet	IX
B.5	Protokoll från experiment med rekylkraft	IX
B.5.1	Genomförda tester	IX
B.5.2	Testrigg	IX
B.5.3	Hur har det testats	X
B.5.4	Resultat av testerna	X
C	Intervjufrågor till anställda	XI
D	Risakanalys	XIII
E	Ritningar	XV
E.1	Släde x-axel i sprängvy	XV
E.2	Släde y-axel i sprängvy	XV
F	Bruksanvisning och underhållsmanual	XVII
G	Beräkningar	XIX
G.1	Motorer	XIX
G.2	Rekylkraft	XX
G.3	Glidlager	XXI

1

Inledning

I det här kapitlet kommer projektets nödvändiga bakgrundsinformation, syfte samt avgränsningar att presenteras.

1.1 Bakgrund

Under de senaste åren har arbetet för att främja anställdas välfärd och minimera arbetsrelaterade skador ökat drastiskt. Exempelvis investerar företag i robotar som kan ersätta människan i att utföra repetitiva och slitsamma arbetsuppgifter. Förutom att vara mer hållbart för de anställda[1], frigör det även tid som denne kan lägga på värdeskapande arbetsuppgifter. Detta gör att den initiala investeringen för en robot kan motiveras genom att undvika sjukskriven personal med psykisk ohälsa eller belastningsskador som resultat av för repetitiva arbetsuppgifter, men även besparingar när de anställda kan spendera sin tid på värdeskapande arbetsuppgifter som främjar innovation inom företaget.

Volvo Autonomous Solutions har ett konceptlabb där en del av arbetet innebär att bearbeta metallplåtar. Dessa plåtar vattenskärs till önskad form, blästras, lackas och torkas före användning. Där framför allt blästringen är ett tidskrävande och hårt arbete som idag görs manuellt av personalen. Vilket innebär att placera en plåt i ett trycksatt skåp och blästra plåtar med en handhållen pistol. Pistolen skjuter ut sand med högt tryck vilket rensar bort smuts och rost från plåtens yta. Flera av momenten sliter på personalens muskler och leder samtidigt som skåpet inte möjliggör en ergonomisk arbetsställning, vilket i sin tur kan leda till bestående förslitningsskador. För att minska belastningen på personalen och effektivisera deras arbete vill VAS undersöka vilka fördelar som en automatiserad blästringsprocess hade medfört.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka hur de anställda på en avdelning för prototypframtagning påverkas av att ha en automatiserad blästringsprocess i sitt dagliga arbete. För att möjliggöra projektets syfte krävs det att en prototyp skapas samt integreras i VAS befintliga blästerskåp.

1.3 Avgränsningar

En del av projektet innebär att skapa en fungerande prototyp, vilket innebär att det inte kommer vara en färdig produkt avsedd för försäljning. Prototypen är ämnad att placeras i ett befintligt blästerskåp från ILB, modell 1200 och är därför begränsad till dess inre dimensioner (950 x, 780 y, 420 z)[mm], men skåpet i sig kommer inte behandlas under detta projekt. Blästerskåpet visas både ut- och invändigt i figur 1.1.



Figur 1.1: Blästerskåp från ILB, modell 1200

Eftersom det enbart är metallplåtar med en tjocklek på 1 mm till 5 mm som ska blästras, kommer prototypen även att vara begränsad till två frihetsgrader. Det gör att den inte kan klassas som en robot enligt ISO 8373:2012 2,9, då definitionen är att det måste finnas minst tre programmerbara axlar, istället kommer prototypen att benämnas som en programmerbar manipulator.

Plåtarna har en varierande geometri med diverse hål och utskärningar beroende på dess avsedda användningsområde, samt förekommer i både stål och aluminium. Detta kommer inte tas i beaktning utan alla plåtar kommer behandlas på ett eller ett fåtal sätt.

Endast tillgängliga komponenter som går att köpa genom VAS redan upphandlade leverantörer kommer att övervägas för projektet, då delarna ska kunna införskaffas under projektets angivna period. Projektet innefattar inget arbete med högspänning och alla komponenter ska därför kunna drivas med maximalt 24 V. Det totala priset för komponenterna får inte heller överskrida kostnaden för att köpa en färdigtillverkad robot från en tredje part. Det gör att projektets budget rimligtvis ligger mellan 5 000 kr och 10 000 kr.

Projektet kommer inkludera enklare instruktioner för användning och underhåll,

så att personalen kan fortsätta använda prototypen för vidare utvärdering efter att gruppen är klara med sin undersökning. Den överlämnade dokumentationen kommer att finnas för att uppfylla vissa krav på prototypen efter aktuella ISO-standarder. Prototypen kommer dessutom att designas och tillverkas specifikt för blästerskåpet tillhandahållet av VAS, vilket gör att metodiken inte kan garantera samma resultat för ett liknande projekt.

1.4 Precisering av frågeställning

Målet med projektet är i enlighet med kapitlet *1.2 Syfte* att med projektet undersöka hur de anställda på en avdelning för prototypframtagning påverkas av att ha en automatiserad blästringsprocess i sitt dagliga arbete. För att möjliggöra syftet kommer en prototyp skapas för att genomföra vissa undersökningar kring hur de anställdas välmående, kreativitet och ergonomi påverkas av den förändrade arbets-situationen. Denna kommer att implementeras i ett befintligt blästerskåp, därför måste även frågor kring hur integrationen av en programmerbar manipulator ska realiseras.

-Hur kan en programmerbar manipulator integreras i ett blästerskåp med begränsat utrymme?

-Hur bör konstruktionen anpassas för att undvika att blästersanden påverkar prototypens funktion?

-Hur kan en programmerbar manipulator ämnad för den givna situationen konstrueras?

Manipulatorn ska placeras i det redan existerande blästerskåpet utan att kompromissa dess funktionalitet. Designen ska även försäkra att kritiska delar inte blir exponerade av blästersanden. Om det krävs viss interaktion mellan en anställd och manipulatorn, ska detta ske på ett användarvänligt sätt. Manipulatorn kommer att vara av en mindre modell med två frihetsgrader, då det endast är plåtar som ska bearbetas. Dessa anses vara färdigbehandlade efter en visuell kontroll genomförd av en anställd. Manipulatorn kommer ej anses godkänd förens den kan producera upprepade testplåtar som godkänns på samma sätt. Vid projektets slut är målet att leverera en fungerande prototyp som kan användas i den dagliga verksamheten, för att ge avdelningen möjlighet att fortsätta utvärdera prototypens funktion efter projektets slut. Rapporten, dess resultat samt gruppens slutsats kommer även att finnas som beslutsunderlag för vidare ställningstaganden. Aktuella ISO-standarder kommer att användas som riktlinjer i gruppens arbete och dess innehåll kommer att tas i beaktning vid både designandet och byggandet av manipulatorn. Överlämningen av prototypen innefattar även en fullständig riskanalys genomförd tillsammans med personal på Volvo Autonomous Solutions med relevant kunskap, ritningar över prototypen, samt en enklare bruksanvisning och underhållsmanual.

2

Teoretisk referensram

I det här kapitlet kommer den tekniska programvaran som användes under projektet samt bakomliggande begrepp beskrivas för en djupare förståelse av hur projektet har genomförts.

2.1 CAD

CAD eller “Computer Aided Design” är en typ av programvara för att skapa teknisk dokumentation, som primärt skapades för att ersätta manuella ritningar. CAD är ett digitalt verktyg som möjliggör en god visualisering av olika koncept samtidigt som det kan användas för att skapa teknisk dokumentation och mycket annat[4]. Projektgruppen använde CAD för flera olika applikationer vilket beskrivs närmare nedan.

2.1.1 3D-modellering

Är en metod för att skapa specifika delar även benämnda som “Parts”. Dessa skapas i 3D för att ge användaren möjlighet att se delen ur alla tänkbara vyer.

2.1.2 Tekniska ritningar

Utifrån en 3D-modell i det valda CAD-verktyget kan ritningar i 2D skapas. Dessa ger en helhetsbild av delen där alla geometrier och mått framkommer från flera olika vyer. Ritningar är ett visuellt sätt att kommunicera hur en del är uppbyggd och tänkt att konstrueras.

2.1.3 FEM/ Finita element metoden

Genomfördes för att se hur en specifik del/ grupp av delar hanterar olika typer av belastningar. Utifrån en FEM-analys kan projektgruppen sedan dra slutsatser om delen uppfyller de hållfasthetskrav som satts upp för att säkerställa att roboten inte går sönder vid långvarig användning.

2.1.4 Assemblys

Är en grupp av delar som är arrangerade på ett sätt att de representerar en färdig eller del av en färdig produkt. De olika delarna i assemblyn kan kopplas till varandra med constraints som begränsar deras olika frihetsgrader.

2.2 Blästring

Är en metod för att rengöra olika materials ytor från smuts och rost. Metoden går ut på att sätta fart på partiklar med hjälp av tryckluft, där principen går ut på att tryckluften skapar ett baksug i blästerpistolen vilket suger ut partiklarna från en reservoar och skjuter ut det ur munstycket. Partiklarna studsar sedan på ytan och tar med sig oönskade beläggningar. Blästring utförs oftast med hjälp av sand, där konsekvensen är att det blir en stor dammbildning. Därför ska blästring alltid genomföras med andningsskydd eller i ett specifikt blästerskåp där dammet hålls isolerat.

2.3 Industrirobotar som hjälpmedel

Användandet av industrirobotar har ökat stadigt under de senaste åren och mellan åren 2015 och 2020 ökade antalet installationer av industrirobotar i genomsnitt med 6 procent[7]. Majoriteten är specifikt programmerade för att utföra en typ av arbete som tidigare har behövt utföras av en operatör, där arbetsuppgifterna kan vara farliga, smutsiga eller ostimulerande. Vilket möjliggör att operatören kan arbeta med mer kreativt stimulerande arbetsuppgifter[8].

2.4 ISO-standarder

Skapas av den internationella organisationen ISO, International Organization for Standardization som samlar experter inom olika områden för att utforma globala standarder. ISO ser även över och uppdaterar alla existerande standarder regelbundet. Alla medlemsländer har ett eget organ som organiserar arbetet i det aktuella landet[6].

2.5 Styrsystem

Det är en ihopsättning av komponenter som styr manipulatorns rörelser, där gruppen även integrerade säkringar för att undvika olyckor som kan uppstå vid felanvändning.

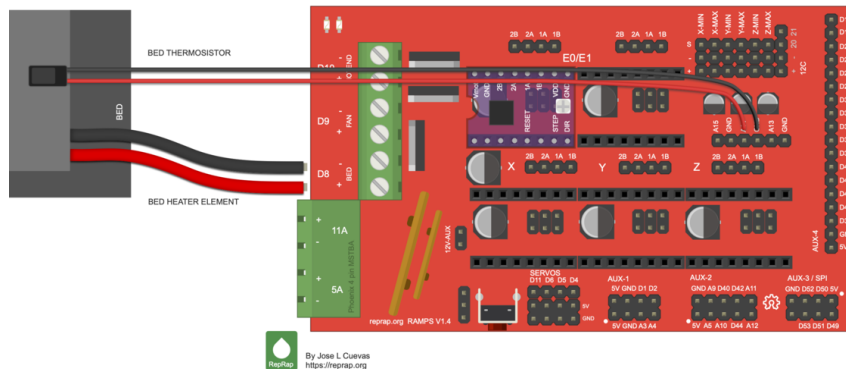
2.5.1 Mikrokontroller

Är en fristående mikrodator som får plats på ett chip. Kontrollern fungerar som en förenklad dator som automatiskt utför en förprogrammerad arbetsuppgift. Den är designad för att utföra samma uppgift upprepade gånger, vilket gör att den inte behöver vara lika komplex som andra mikroprocessorer[10]. Gruppen använde sig av en Arduino som är utvecklad för att vara enkel att använda samtidigt som den både kan få och skicka olika signaler, där den bland annat har flera PWM-utgångar. Arduino är alltså en flexibel controller som kan användas med flera olika operativsystem[11]. Kontrollkortet har även som uppgift att skicka riktningar och stegimpulser till motordrivarna från PWM-utgångarna. Dessa impulser ligger mellan

0-5 VDC och klyvs sedan av motordrivarna som i sin tur spänningssätter en eller flera statorfaser inuti motorn vilket skapar ett magnetfält som roterar motoraxeln en viss mängd steg.

2.5.2 Kontrollbräda

Fungerar som ett gränssnitt mellan mikrokontrollern och den andra elektroniken. Projektgruppen använde sig av kontrollbrädan Ramps 1.4 som syns i figur 2.1, då den är speciellt utformad för att fungera tillsammans med en Arduino.



Figur 2.1: Kontrollbrädan Ramps 1.4

2.5.3 Motorer och motordrivare

Motordrivaren kontrollerar motorns hastighet och riktning genom att klyva PWM-signalerna från kontrollbrädan och selektivt spänningssätta en eller flera av motorns statorer vilket skapar ett magnetfält som i sin tur roterar motoraxeln. Signalerna från kontrollbrädan befinner sig i intervallet 0-5 VDC medan motordrivaren skickar en spänning på 0-24 VDC och 2 A, motordrivare kan därför beskrivas som en strömförstärkare samtidigt som den kan ta emot insignaler[13].

Det kompletta kontrollsystemet består av tre stycken motordrivare som styr respektive motor. De betecknas X, X2 och Y för respektive axel där X och X2 delar på samma steg och riktning impulser från kontrollbrädan då de ska rotera i samma riktning och hastighet medan Y får egna signaler. Motorn som är kopplad till X2 har inverterande poler då den är placerad spegelvänt mot X och behöver därför rotera motsatt håll för att de tillsammans ska förflytta y-axeln åt samma håll. Stegmotorerna som används har en steglängd på 1.8 grader vilket innebär att de roterar 1.8 grader för varje steg (200 steg/rev). Motordrivarna som används (TB 6600) möjliggör även "microstepping" vilket innebär att en fas i motorn aldrig är helt av eller helt på och därmed ger upphov till att kunna dela in varje steg i flera delsteg eller mikrostepp som det också kallas. I denna prototypen körs motorerna med en mikrosteppning på 1/8 eller 1600 steg per varv. Detta ger en väldigt hög precision och minskar även vibrationer och ljudnivån under drift men ger i sin tur en lägre maxhastighet och tillgängligt vridmoment.

Vid 1600 steg per varv så beräknas det tillgängliga vridmomentet vara 20 procent av det maximala vridmomentet vilket gör att motorernas ursprungliga vridmoment på 1.4 Nm är reducerat till cirka 0.273 Nm.

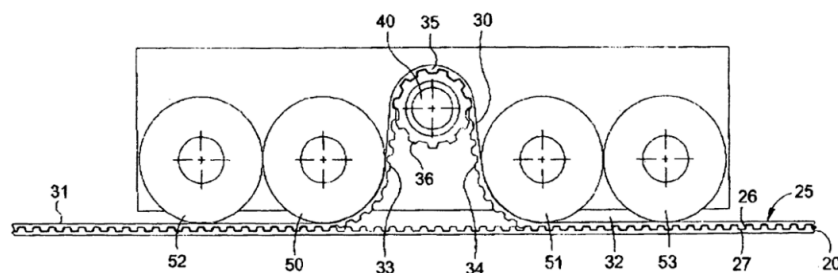
2.5.4 HMI

Ett användargränssnitt mellan operatör och maskin. Från denna kan man manuellt köra robotens motorer, starta och modifiera program samt få användbar information om maskinen eller aktivt program. Ett HMI består här av en smartcontroller med en LCD-skärm, rotationsenkoder för att navigera kring menyerna på skärmen, SD-kortläsare, reset-knapp och siren för ljudsignaler.

2.6 Linjär bältesdrivning

Manipulatorn består av tre stycken linjära bältesdrivna aktuatorer. Bältet tillsammans med kugghjul agerar som en transmission mellan motoraxeln och den linjära rälsen. När motoraxeln roterar skapas en linjär förflyttning när kugghjulet drar bältet i en av två möjliga riktningar. Det är denna rörelse som skapar det kartesiska koordinatsystemet för prototypen i x och y riktning.

Bältesdrivning kan delas in i två kategorier, friktionsdrivning eller positivdrivning. Friktionsdrivning överför kraft genom friktionen mellan bältet och det roterande mediet. Vid positivdrivning används istället tandade kugghjul och bälten alternativt kedjor där tänderna kopplar samman bälte och en roterande axel för att överföra kraft[3]. En sådan typ av drivning kallas Everman bältesdrivning, se figur 2.2, där två tandade bälten placeras över varandra och agerar som en kuggstång för kugghjulet att dra sig fram på. Denna typ av drivning minimerar risken att bältet halkar och håller även smuts borta från tänderna då bältet aldrig rör på sig.



Figur 2.2: Evermans bältesdrivning

3

Metod

I metodkapitlet kommer den metodik som användes under projektet att presenteras.

3.1 Problemdefinition

För att få en tydlig bild av problemet och förstå dess omfattning gjordes en problemdefinition baserat på den information tillhandahållen av VAS samt ytterligare intervjuer med anställda på avdelningen.

3.1.1 Kravspecifikation

Kravspecifikationen skapades för att sammanställa den information som samlats in samt för att möjliggöra kvantifiering av krav och önskemål från projektgruppen och VAS. Den fanns även för att kunna avgöra om de olika kriterierna är uppfyllda eller ej och ge gruppen chansen att prioritera de viktigaste kriterierna först och lägga till funktioner om möjligheten gavs.

3.2 Utveckling av prototyp

Projektet är uppdelat i ett antal större moment, där utveckling av prototypen är en av dem. Där skapade projektgruppen ett färdigt koncept redo att tillverkas under flera olika steg. Dessa inbegriper att generera dellösningar och kombinera dem, för att sedan vidareutveckla konceptet samt göra vissa hållfasthetsanalyser.

3.2.1 Konceptgenerering

Olika koncept skapades genom att utvärdera dellösningar och sammanställa dessa till fungerande koncept, där gruppens sunda förnuft och förståelse av problemet användes för att generera dessa och utesluta de som ej var genomförbara.

3.2.1.1 Brainstorming

Projektgruppen skapade en del av dellösningarna med hjälp av brainstorming. Vilket är en metod som med fördel bör genomföras i grupp, där fokus är att generera idéer för ett speciellt ämne i en icke-dömande miljö[2].

3.2.1.2 Utvärdering av existerande lösningar

Dessutom studerade projektgruppen redan existerande lösningar för att få inspiration på dellösningar och fullständiga koncept. Inga existerande lösningar användes rakt av i det slutgiltiga konceptet, utan de har modifierats för att passa projektets krav och önskemål.

3.2.2 Konceptutveckling

När projektgruppen hade bestämt sig för ett generellt koncept samt konsulterat med anställda på VAS, var det dags att utveckla och realisera det valda konceptet. Detta gjordes primärt genom att 3D-modellera konceptet i CAD, för att få en tydlig bild av hur prototypen såg ut i dess ämnade miljö. Här kunde designen utvärderas närmare och förändras ifall någon lösning inte var möjlig att realisera.

3.2.2.1 Val av komponenter och BoM

Komponenterna som användes under projektet valdes efter de krav och önskemål som ställdes i kravspecifikationen, vad som var tillgängligt på VAS kanaler under projektets avsedda period samt vad projektgruppen ansåg var lämpligt. Det utfördes beräkningar på vitala komponenter för att vara försäkrade om att dessa håller för de belastningar som uppstår i blästerskåpet. För att på ett bra sätt kunna kommunicera en fullständig bild till behöriga om vad projektgruppen behövde för att genomföra projektet skapades en BoM, se bilaga A. Denna skickades sedan till VAS beställare för inköp.

3.2.2.2 Framtagning i CAD

En stor del av konceptframtagningen bestod av att konstruera roboten och dess olika ingående delar, vilket genomfördes i CAD-mjukvaran Fusion 360. Detta gjordes för att försäkra att robotens design gick att realisera samt se ifall konstruktionen höll för det ämnade ändamålet. Gruppen fick med den slutgiltiga assemblyn en överskådlig bild av roboten och dess funktionalitet.

3.2.2.3 Utveckling av styrning

För att styra roboten användes mjukvaran Marlin, vilket är open source och används framför allt för styrning vid rapid prototyping- även kallad 3D-printning. Mjukvaran används för att läsa och översätta G-kod, vilket i sin tur kan skicka styrsignaler för att kontrollera flera olika servomotorer samtidigt[9]. Marlin fungerar som ett operativsystem som i sin tur kommunicerar med de verktyg som krävs för att kontrollera styrningen, däribland Visual Studio och PronterFace.

3.2.3 Hållfasthetsanalys

Det slutgiltiga konceptets ingående delar genomgick en hållfasthetsanalys för att försäkra att de klarade av det ämnade syftet. Analysen genomfördes i Fusion 360 FEM-verktyg och resultatet stod som grund till om komponenter direkt användes i

den slutgiltiga konstruktionen eller ifall de krävde en förändring i sin design innan de kunde klassas som redo för tillverkning.

3.3 Tillverkning av prototyp

Prototypens tillverkning påbörjades med att skapa de primära delarna vars ritningar skapats från CAD. Därefter monterades de ihop och projektgruppen utvärderade alla delars funktionalitet. Ifall en del krävde en ny design för att fungera bättre, skapades en ny version i CAD för att sedan tillverkas, monteras och utvärderas igen. Processen skedde upprepade gånger fram tills att projektgruppen var nöjd med det slutgiltiga resultatet.

3.3.1 Tillverkningsmetoder

Projektgruppen hade tillgång till VAS maskin- och prototypverkstad, där all tillverkning genomfördes. Framförallt användes vattenskäraren för att skära ut delar som krävde fina toleranser. Medan pelarborr, fräs, gradsax, bockmaskin och kallbandsåg användes då kompletterande element lades till på vattenskurna delar alternativt tillverkning av delar som inte krävde lika hög tolerans. Samtidigt valde gruppen att i vissa fall använda additiv tillverkning för mindre och komplexa delar där delens hållfasthet inte var primär. Gruppen använde även diverse handhållna verktyg i komplement till de ovan nämnda tillverkningsmetoderna.

3.4 Tester av prototypen

Prototypen genomgick tester för att försäkra robotens funktionalitet. Testerna utfördes både på robotens delsystem och systemet som helhet. Projektgruppen använde väletablerade metoder för att mäta robotens olika egenskaper, såsom genom tidtagning, mätningar, jämförelser och vägning. Men även genom datorstödda simuleringar och analyser.

3.5 Undersökning och kvalitativ intervju med anställda

Gruppen arrangerade två tillfällen där de anställda på avdelningen dels fick svara på hur deras nuvarande arbetssituation såg ut med blästerskåpet i endast manuellt läge, samt när de fick använda sig av prototypen för att sedan svara på ett par förutbestämda frågor. Denna metod valdes då den möjliggjorde för den intervjuade att dela med sig av sina åsikter på ett fördjupat sätt[12]. Vilket var viktigt för gruppen, då syftet med undersökningen var att se hur de anställda upplevde att implementeringen av prototypen påverkade deras arbetsmiljö.

3.6 Kompletterande dokumentation

Efter önskan från VAS lämnades prototypen över till de anställda i prototyplabbet för fortsatta tester efter projektets slut. För att försäkra att VAS hade rätt information för säker användning och underhåll genomfördes och överlämnades nedan kompletterande information.

3.6.1 Riskanalys

Även kallad riskbedömning är ett sätt att bedöma hur allvarlig en risk är, genom att ta hänsyn till både konsekvens och sannolikhet. Dessa rankas sedan för att ge en tydlig bild av vilka risker som behöver åtgärdas först[5]. Volvo Autonomous Solutions tillhandahöll en mall samt checklista för hur en riskanalys skulle genomföras. Projektgruppen använde dessa under arbetet. Riskanalysen genomfördes för att uppfylla alla kriterier för att få användas i VAS maskinverkstad.

3.6.2 Enklare bruksanvisning och underhållsmanual

En enklare bruksanvisning och underhållsmanual skapades för att göra implementeringen av prototypen i de anställdas dagliga arbete så smidig som möjligt. De beskriver hur roboten ska hanteras för att fungera på det utlovade sättet, hur felsökning ska genomföras samt lösning på vissa sannolika fel som kan uppstå.

3.6.3 Ritningar

Gruppen skapade övergripande ritningar av robotens ingående delar som ingick vid överlämningen av roboten till VAS. Ritningarna är till för att ge en förståelse för hur roboten är uppbyggd och hur alla komponenter är tänkta att monteras.

4

Resultat

Här presenteras projektets resultat.

4.1 Prototyp

Här presenteras både prototypen, samt de experiment som utfördes för att försäkra att konstruktionen höll för det ämnade ändamålet.

4.1.1 Mekanik

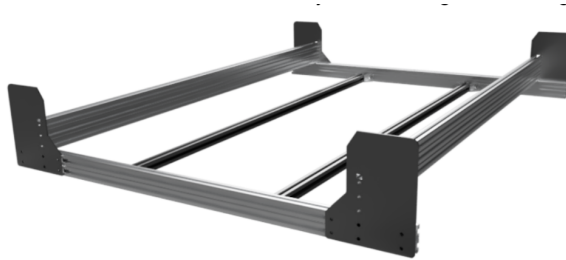
Prototypens mekanik består framförallt av den programmerbara manipulaton, vars ingående delar är indelade i skydd för x- och y-axel, ram, släddar för både x- och y-axel där motorer och bältesdrivningen ingår, infästningen av blästerpistolen samt det separata rörsystemet. Bild på den färdiga prototypen visas i figur 4.1.



Figur 4.1: Prototypen

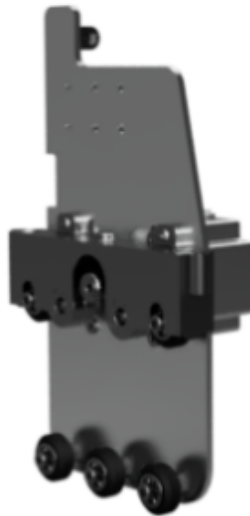
Ramen står som grund för hela manipulaton och ska därför ta upp all strukturell belastning. Ramen består av x-axlarna som släddarna förflyttas på, två profiler för att skapa en rektangulär struktur med två stödprofiler för att göra ramen mer stabil,

dessa sitter ihop med ändplattorna som även är en del av x-axlarnas skydd. Ramen går att se i 4.2.



Figur 4.2: Prototypens ram

X-axlarnas slädar är det stycke som håller ihop x-axlarna med den kortare y-axeln. Detta stycke är en central del som håller ihop flera olika komponenter, se Bilaga E1 för en mer ingående beskrivning samt figur 4.3 för en bild. De delar som tillhör släden är motorn, hjulen samt bältesdrivningen, men även en utskärning för det mindre rörsystemet och en distans till motorns kablage.



Figur 4.3: x-axelns släde

X-axlarnas skydd består av två separata metallplåtar tillsammans med ändplattorna. Det främre skyddet är konstruerat för att vara avtagbar, för att möjliggöra enkel rengöring innanför skyddet. Det sitter på plats med en nedfällbar hasp på ändplattan samt två vinklar som ser till att nederdelen av framskyddet sitter på plats, se figur 4.4. Där syns även ändplattornas andra funktioner, såsom att spänna fast x-axlarnas bälten och hålla ihop ramen. Mellan fram- och bakskyddet är ett mellanrum som finns för att möjliggöra x-axelns släde att röra sig fram och tillbaka. Mellanrummet är förseglad med två gummiläppar som är vikta över varandra för att minimera damm som kommer innanför skyddet.



Figur 4.4: Framskyddet på x-axeln och hur den låses fast

Slädens utseende är mindre komplex än de som sitter på x-axlarna. Den är monterad på ett glidlager som är fastskruvat i aluminiumprofilen som är fästa i x-axlarnas släddar, såsom visat i figur 4.5, medan y-axelns släde syns i figur 4.6. En ritning av släden i sprängvy finns i bilaga E.

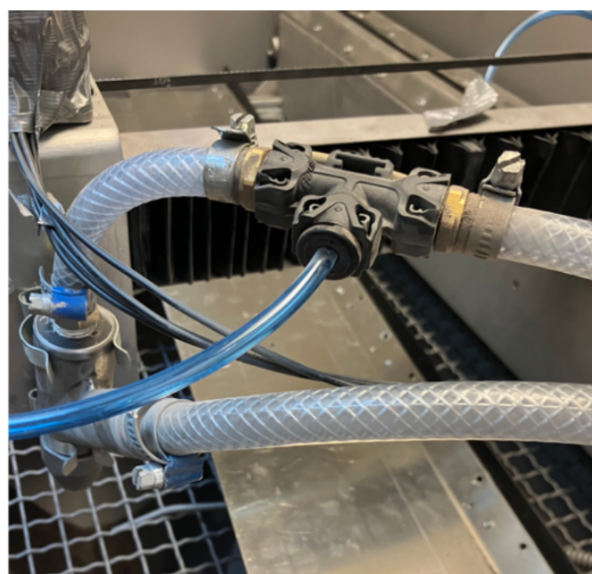


Figur 4.5: y-axeln



Figur 4.6: y-axelns släde

Rörsystemet består av två armerade pvc rör som innehåller trycksatt luft på 8 bar och blästersand. Rörsystemet börjar vid fotpedalen enligt figur 4.8, där det sedan går in i blästerskåpet genom två isolerade hål på undersidan. Väl inne i blästerskåpet ansluts slangarna till blästerpistolen såsom i figur 4.7 och en mindre slang förgrenas med tryckluftslangen för att förse x-axlarna med tryckluft.



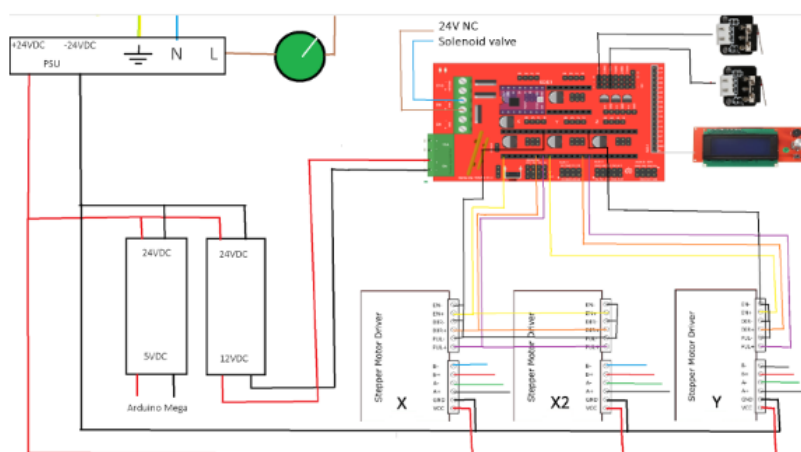
Figur 4.7: Rörsystemets förgrening i blästerskåpet



Figur 4.8: Rörsystemet utanför blästerskåpet

4.1.2 Elektronik

Prototypens kontrollsystem samt tillhörande elektronik styrs från ett separat elskåp. Elskåpet innehåller huvudsakligen strömförsörjning, enheter för motordrivning samt diverse komponenter för styrning. Men även mindre komponenter såsom mekaniska sensorer, switchar samt en LCD-skärm. El-schemat för hela elskåpet syns i figur 4.9 där de positiva respektive negativa polerna sammankopplas med röda och svarta kablar.

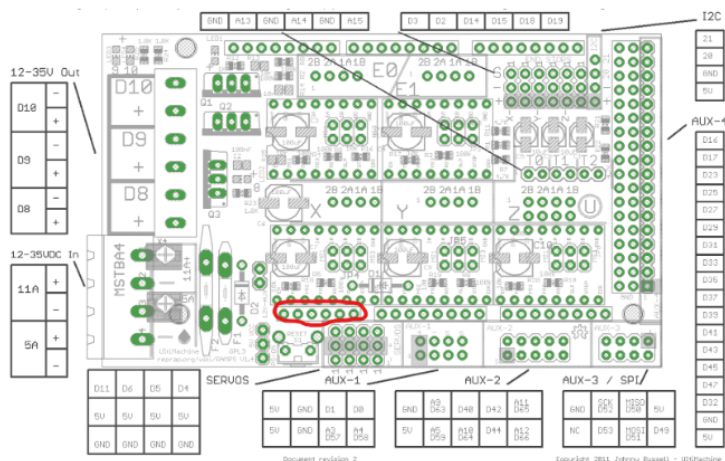


Figur 4.9: Kopplingschema av elskåp

All elektronik spänningssätts från ett 24 VDC 400 W nätaggregat som omvandlar 220 VAC från ett vägguttag till en 24 VDC last. Utifrån nätaggregatet delas ström-

försörjningen upp i 3 kretsar på 24, 12 respektive 5 VDC. Där motordrivarna styrs av 24 V, kontrollkortet styrs av 12 VDC och Arduinon av 5 VDC. Strömmen kan slås på och av med en tvåläges-switch eller genom nödstoppet. Gruppen har implementerat flera olika säkerhetsfunktioner, såsom en mekanisk sensor som hålls intryckt när blästerskåpet är stängt för att sluta strömkretsarna. Denna har som uppgift att stänga av prototypen ifall användaren skulle öppna dörren till blästerskåpet medans ett program körs.

Eftersom Arduinon och kontrollkortet försörjs externt med 5 VDC respektive 12 VDC så är de helt oberoende av varann. Arduinons spänningsreglerare och Diode D1 på Ramps 1.4 kortet är därför borttagna då Diode D1 fungerar som en 12 VDC brygga mellan korten men då båda har individuell strömförsörjning behövs ej denna längre, se figur 4.10.



Figur 4.10: Ramps 1.4 PCB-layout

Kontrollkortet står för styrning av motordrivare, I/O signaler och kontroll av en ventil som styr tryckluften in till blästerskåpet. I/O signalerna är främst signaler från de tre mekaniska sensorerna som begränsar robotens rörelser i x- och y-led såväl som sensorn för dörren till blästerskåpet. Kontrollkortet innehåller CNC-mjukvaran Marlin som översätter G-kod till kartesiska koordinater, G-koden skrivs för hand och skickas till kontrollkortet med hjälp av en SD-kortläsare.

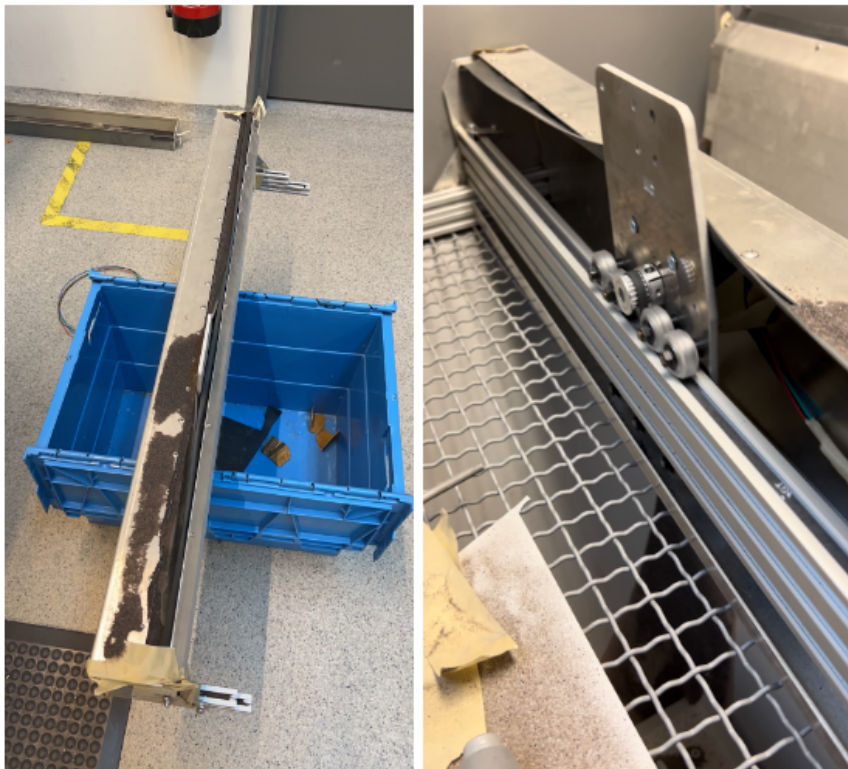
Hela elskåpet är jordat till nätet och nätaggregat samt spänningsomvandlare har inbyggda över- och underspänningsskydd såväl som lämpliga säkringar för att motverka risk för kortslutning.

4.1.3 Experiment

De experiment som utfördes varierar i både omfattning och metodik, alla beskrivs därför i separata protokoll bifogade i Bilaga B. Nedan kommer därför endast kortfattat om varje experiments utförande samt resultat.

4.1.3.1 Experiment 1: motorer, bälten och skydd

genomfördes i blästerskåpet där endast en av x-axlarna var monterade enligt figur 4.11.



Figur 4.11: Testrigg för experiment 1

Gruppen körde en kort G-kodsekvens som testprogram för att utvärdera hur bältesdrivningen fungerade, motorernas tätning samt om x-axlarnas skydd höll önskad standard.

Gruppen kunde inte observera några precisionsförluster på grund av sanden. Däremot påverkades aluminiumprofilerna av att hjulen rullade över sandkorn och skapade mindre repor. Plåtskydden höll ute direkt stänk från blästersanden men däremot kom lite sand in igenom läpptätningen vilket var väntat men ska minimeras. Tätningen för motor höll ute sand helt och motorn påverkades inte alls av sanden tack vare dess radialtätning för motoraxeln och en gummilist vid infästningen. Protokollet från experiment 1 är bifogat i sin helhet i bilaga B.

4.1.4 Experiment 2: lilla rörsystemet och hjul

testriggen bestod av de två x-axlarna sammankopplade av en temporär y-axel som blästerpistolen var monterad, se figur 4.12.



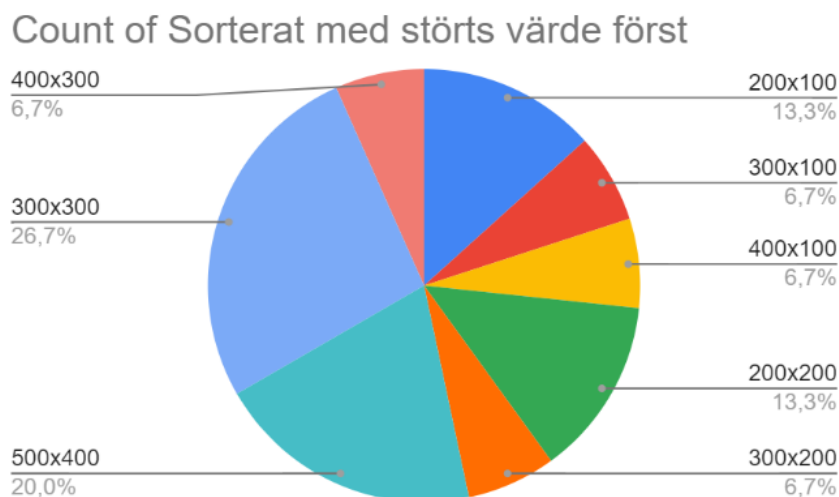
Figur 4.12: Testrigg för experiment 2

Experimentet var till för att testa hur ett kompletterande tryckluftssystem för att blåsa rent x-axlarna från sand som kommit innanför skydden skulle fungera. Detta gjordes genom att ha två separata fall på vardera axel, där ena körde utan tryckluft och den andra hade det. Gruppen testade även nya hjul med tätade lager, då gruppen tog med sig det som vidareutveckling efter experiment 1.

Den sida med det nya trycksatta skyddet som blåste tryckluft på både profilerna och hjulen hade markant med mindre sand som låg kvar på axeln. Detta gjorde även att slitaget på aluminiumprofilerna var mindre än på sidan som inte blåstes av vid körning. Hjulen höll sig bra och det syntes inget direkt slitage, lagren var inte heller lika igentäppta som efter genomförandet av Experiment 1. Gruppen kommer därför använda de nya hjulen framöver istället för de gamla med otätade lager. Protokollet från experiment 2 är bifogat i sin helhet i bilaga B.

4.1.4.1 Experiment 3: arbetsyta

Det tredje experimentet genomfördes som en tvärsnittsstudie för att mäta spridning som storleken av plåtarna hade genom att observera 15 gånger när de anställda blåstrade under olika dagar och projekt. Därefter mättes plåtarnas storlek och sammanställdes i ett diagram som visualiserade spridningen. Resultatet kan avläsas i figur 4.13 och fanns sedan som grund för gruppen i beslutet om hur många program som personalen skulle kunna välja mellan.



Figur 4.13: Fördelningen av storlekar på plåtar som observerats

Alla uppmätta plåtar avrundades till närmaste 100 mm och grupperades. Detta för att på ett enklare sätt kunna studera datan och dra relevanta slutsatser ifrån det. Protokollet från experiment 3 är bifogat i sin helhet i bilaga B.

4.1.4.2 Experiment 4: Skydd

Genomfördes när prototypen var i sin slutgiltiga konfiguration. Testet genomfördes genom att köra en kort G-kodsekvens som testprogram likt det i experiment 1. Sedan studerade gruppen hur mycket sand som samlats innanför bälgarna på y-axeln samt hur det påverkar dess rörelse och generella funktion.

Resultatet överträffade gruppens förväntningar och släppte in markant mindre än vad skydden för x-axlarna gjorde. Gruppen övervägde olika möjligheter till vidareutveckling av prototypen efter resultatet för experiment 4. Protokollet från experiment 4 är bifogat i sin helhet i bilaga B.

4.1.4.3 Experiment 5: Rekylkraft

experimentet genomfördes för att användas som underlag för beräkningar av glidlager samt för att verifiera beräkningarna för rekylkraften. Experimentet utfördes genom att fixera blästerpistolen mot en våg med munstycket i motsatt riktning från vågen. När sand sköts ur pistolen så trycks den nedåt och gruppen kunde därifrån avläsa en massa som sedan omvandlas till en kraft. Testet utfördes under 10 sekunder för att hinna göra en rimlig avläsning från vågen och testet itererades även 10 gånger för att kunna ta fram ett medelvärde, se tabell 4.1. Den resulterande rekylkraften blev därmed 9.2 Newtonmeter vilket är större än vad beräkningarna resulterade i.

Tabell 4.1: Mätdata från experiment 5

Test Nr.	Uppmätta värden	Rekylkraft
1	0.9kg	8.829N
2	0.84kg	8.240N
3	1.1kg	10.791N
4	1.4kg	13.734N
5	1.01kg	9.90N
6	0.79kg	7.749N
7	0.95kg	9.320N
8	0.78kg	7.652N
9	0.69kg	6.7689N
10	0.92kg	9.02N

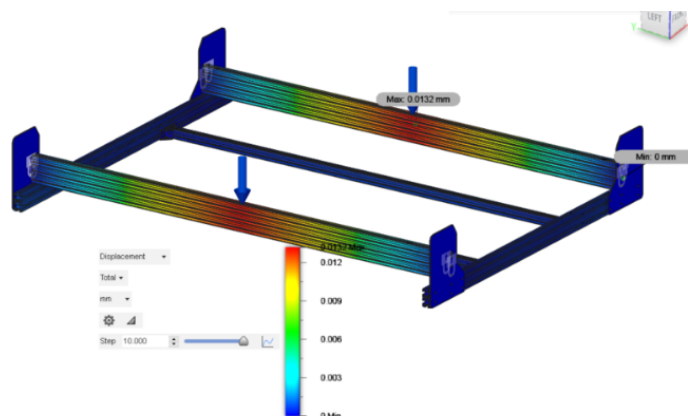
Protokollet från experiment 5 är bifogat i sin helhet i bilaga B.

4.2 Beräkningar

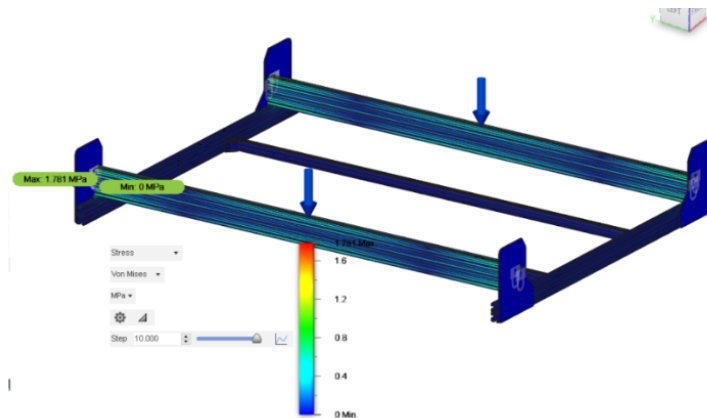
Nedan visas alla beräkningar som gruppen utförde. Det är dels FEM-analys som utfördes för att kontrollera att alla kritiska delar skulle hålla för vissa troliga lastfall som ställdes upp av projektgruppen. Samt beräkningar som grundar sig i etablerade teorier.

4.2.1 FEM-analys

Hållfasthetsberäkningar på prototypens ram har utförts med hjälp av finita element metoden och de numeriska beräkningarna har gjorts i programmet Fusion 360. Figur 4.14 och figur 4.15 visar ramens deformation och stresskoncentration vid ett statiskt lastfall på 50 N vinkelrätt mot ramens profiler. Resultatet av beräkningarna blev en maximal deformation på 0.0132 mm och en maximal stresskoncentration på 1.781 MPa vilket är långt under materialets sträckgräns som för Aluminium 6082 T6 ligger på 240 Mpa.



Figur 4.14: Ramens deformation



Figur 4.15: Ramens stresskoncentration

4.2.2 Beräkningsunderlag för komponentval

4.2.2.1 Motorer

För att säkerställa att motorerna uppfyllde den funktion som önskades gjordes beräkningar baserat på den last som förflyttas, vilket för x-axelns motorer är cirka 5 kg och för y-axelns motor ca 1 kg. Då x-axelns motorer förflyttar 2.5 kg vardera är det denna last och placering som dimensionerar motorerna och beräkningarna utgår därför från dessa värden.

Vid beräkningarna krävdes det att gruppen gjorde flera antaganden gällande framförallt verkningsgrader, då dessa inte kunde undersökas närmare förrän prototypen var färdigbyggd. Verkningsgraden för bältesdrivningen uppskattades till 80 procent och lasten som användes i beräkningarna är 6 kg för att kompensera för felmarginaler mellan massan i CAD och den verkliga massan. Resterande parametrar togs ur datablad för de olika komponenterna och alla beräkningar kan ses i bilaga G.

Resultatet av beräkningarna var att ett vridmoment på 0.215 Nm krävs för att kunna accelerera 6 kg upp till 1 m/s. Vidare beräknades även att vridmomentet vid 1/8 mikrostegning (1600 steg per varv) reducerades till 20 procent av ursprungligt vridmoment. För att uppfylla detta vridmoment med viss säkerhetsmarginal och önskad mikrostegning valde gruppen att införskaffa stegmotorer med ett vridmoment på 1.4 Nm vid 2 A. Detta ger en säkerhetsmarginal på 1300 procent vid full stegning och cirka 250 procent vid mikrostegning.

4.2.2.2 Rekylkraft

För att konstruktionen för y-axeln skulle uppfylla sin funktion behövde gruppen kvantifiera rekylkraften för blästerpistolen, då denna påverkar vilken last som motorn behövde förflytta samt vilka krav som ställdes på glidlagret för y-axeln.

Rekylkraften beräknades utifrån massflödet ur pistolen, se bilaga G samt verifierades med ett fysiskt experiment, som syns i bilaga B. Utifrån beräkningarna fick gruppen

en resulterande kraft på 5.85 N medans experimentet gav en rekyl på cirka 9.2 Nm.

4.2.2.3 Glidlager

Glidlagret för y-axeln har som uppgift att bära upp motorn, blästerpistol samt deras infästningar. För att införskaffa ett lämpligt glidlager utgick gruppen från beräkningar, experiment för blästerpistolens rekylkraft samt sammanlagda massan för respektive komponenter. Beräkningarna finns i Bilaga G och på grund av komponenternas placering blev det resulterande vridmomentet kring glidlagret enbart 1.278 Nm.

4.3 Undersökning

Resultatet efter den första intervjun där personalen fick svara på ett par förutbestämde frågor efter att ha blåstrat manuellt var generellt enhälligt, frågorna går att finna i bilaga C.

Det framkom att majoriteten av de anställda upplevde höjden på blästerskåpet som ett problem och flera menade att det var den främsta anledningen till att de inte gillade att arbeta med blästerskåpet. Tidigare valde personalen att palla upp skåpet för att möjliggöra bättre ergonomi för de längre anställda. Som följd blev dock arbetsställningen orfördelaktig för de som är kortare. En anställd ansåg att arbetsställningen “var en kompromiss” där ingen var direkt nöjd samtidigt som det inte var outhärdligt att blåstra enstaka plåtar. Dock ansåg alla att arbetet blev ohållbart när arbetet översteg 15 minuter. Då upplevde flertalet av de anställda smärtor i rygg och axlar.

Arbetsgruppen var även eniga kring att arbetet ansågs “ta tid från annat viktigare” som en anställd uttryckte det. En i personalen gav vattenskäraren som exempel, där det är viktigt för dem att få tillgång till den tillverkade delen för att kunna utföra sitt arbete. Processen att manuellt tillverka den skulle vara oeffektivt då vattenskäraren kan ersätta personalen i vissa moment och ge ett lika bra eller bättre slutresultat. Detta var även vad de flesta såg mest fram emot med att få börja använda projektgruppens prototyp. Nämligen att få tillgång till vissa funktioner från vattenskäraren för att kunna effektivisera blåstringen.

Samtidigt ansåg flertalet i personalen att möjligheten att blåstra manuellt var en viktig funktion, då de ibland blåstrade delar med varierande geometri där möjligheten att vrida runt delen med händerna var väsentlig. Vissa sa uttryckligen att denna funktion var viktig för att matcha avdelningens varierande arbetsuppgifter. De nämnde även kvaliteten på slutprodukten som en viktig aspekt, där varje plåt var tvungen att ha liknande resultat som inte krävde någon justering eller omkörning för att kunna användas. Detta var specifikt något som flera i gruppen ansåg var viktigt inför bygget av prototypen, då resultatet direkt påverkade hur personalen skulle tycka om prototypen. Så som en i personalen sa “ det spelar ingen roll hur bekvämt det är att ha något som kan blåstra plåtar åt en om det inte blir bra, det

skapar istället bara merarbete”.

När personalen sedan fick testa prototypen som projektgruppen hade skapat, var svaren på intervjufrågorna i bilaga C genomgående positiva.

Personalen ansåg att prototypen löste problemet med den begränsade arbetsställningen, då den såg till att de inte behövde sköta blästringen manuellt. De ansåg att detta skapade en mer hållbar arbetssituation där de inte behövde stå och få smärtor i rygg och axlar. De poängterade även att prototypen förbättrade deras möjlighet att effektivisera sin tid, då den automatiserade blästringsprocessen gjorde att de kunde arbeta med annat under tiden. Gruppen nämnde att detta skulle korta ner den totala tiden för tillverkning i maskinverkstaden genom att de kunde utföra andra arbetsuppgifter alternativt förbereda inför bearbetning av andra delar när prototypen kör.

Generellt tyckte personalen att det var intuitivt att använda prototypen och att displayen för att bestämma program var enkel att navigera i. De ansåg att bruksanvisningen skulle bli ett bra komplement för att ytterligare förenkla användningen av prototypen samt för andra medarbetare på VAS som ska använda prototypen för första gången. De ansåg dock att det fanns utvecklingspotential i markeringen av ellådan samt blästerskåpets utsida för att tydligare markera ut viktiga instruktioner som annars lätt kan glömmas bort. Gruppen tog med sig detta och satte upp en skylt för instruktioner av rengöring på skåpet samt tydliga förklaringar för de olika lägena på ellådans knappar, såsom visas i figur 4.16.



Figur 4.16: Skyltar för att förtydliga instruktioner

Det personalen även nämnde var att bruksanvisningen och underhållsmanualen var tydlig och enkel att förstå samt att den tog upp saker som de själva inte hade tänkt att de skulle behöva. Exempelvis kapitlet om potentiella fel som kan uppstå och hur de kan lösas, hela bruksanvisningen är länkad i bilaga F.

De anställda gillade även att gruppen skickade med förslag på vidareutveckling och visade ett stort intresse för att fortsätta uppgradera prototypen för att förlänga dess livslängd. De var även intresserade av att lägga till egna program för att anpassa prototypen efter exakt deras önskemål.

4.4 Kompletterande dokumentation

Här visas all den kompletterande dokumentationen som överlämnades till VAS tillsammans med den fungerande prototypen och denna rapport.

4.4.1 Riskanalys

Genomfördes för att manipulatorens skulle få användas i maskinverkstaden, då det ställdes som ett krav från VAS skyddsombud. Detta gäller alla prototyper och maskiner som ska användas i VAS lokaler. Riskanalysen genomfördes tillsammans med relevant personal på avdelningen samt maskinverkstadens säkerhetschef och kommer vara tillgänglig både i fysisk form samt på VAS dokumentportal.

De främsta riskerna uppstår när blästerskåpet är öppet, det finns en risk att få sand i ögonen eller skära sig på plåten vid hantering. Denna risk har dock eliminerats under körning av prototypen, då en kontaktor har installerats i dörren för att bryta strömmen ifall skåpet öppnas, vilket syns i figur 4.17. Vilket innebär att den största identifierade risken inte är möjlig att uppstå efter att motåtgärderna har genomförts.



Figur 4.17: Placering av kontaktor

Det gör att endast det mindre riskfyllda elementet kvarstår, när prototypen är avstängd och användaren har armarna inuti skåpet. Dessutom minimeras riskerna genom skapandet av en bruksanvisning som beskriver hur arbetet ska genomföras på säkrast sätt. Gruppen har även installerat lock för armarna som gör det omöjligt att sätta in armarna samtidigt som manipulatorens kör, vilket figur 4.16 visar. Dessa åtgärder gör att blästerskåpet är säkrare än före installation av prototypen.

Dock kvarstår vissa risker gällande hantering av plåtar och ljudnivå vid blästring. Som motåtgärd rekommenderas användaren att bära slitstarka handskar och hörselkåpor. För att skydda användaren mot strömförande elektronik samt för att skydda komponenterna så har gruppen placerat alla elektriska komponenter i ett separat elskåp. Elskåpet är tätat och ventilerat för att undvika fukt och smuts samt förseglat med speciella skruvar för att ej kunna öppnas utan specialverktyg. Allt kablage går även genom kabelstrumpor som minimerar risken för att kablarnas isolering skavs sönder och riskerar att skada användaren. Riskanalysen i sin helhet kan läsas i bilaga D.

4.4.2 Ritningar

De ritningar som överlämnades var primärt assembly i sprängvy, då ritningarna endast finns till som stöd vid underhåll där prototypen behöver plockas isär och sedan ihop igen. Det som specifikt skapades var ritningar av slädarna för x- och y-axlarna som består av flera olika mindre komponenter. Dessa kan ses i bilaga E.

4.4.3 Bruksanvisning och underhållsmanual

Ett kompletterande dokument skapades som support till personalen i deras fortsatta användning av prototypen. I den kombinerade bruksanvisningen och underhållsmanualen ingår ämnen som förkunskaper som krävs, steg-för-steg guide i hur den används samt underhåll. För att ge alla potentiella användare en möjlighet att förstå prototypens syfte samt hur den ska användas utan att ha läst denna rapport, främst för att undvika potentiella risker vid felanvändning. Bruksanvisningen är bifogad i sin helhet i bilaga F.

5

Reflektion

I det här kapitlet kommer projektgruppen att reflektera kring projektets syfte och resultat, för att sedan diskutera kring möjlig vidareutveckling av prototypen. Gruppen kommer även att dra slutsatser från den undersökning som genomfördes om personalen är i behov av en automatiserad process i sitt dagliga arbete eller inte.

5.1 Diskussion

Gruppen är generellt nöjd med projektets utfall och genomförande, det uppstod dock saker under projektets gång som inte kunde förutses eller påverkas. Gruppens tidsplan påverkades negativt av både förseningar och felbeställningar av komponenter. Det gjorde att prototypen inte hade genomgått alla tester som gruppen initialt tänkt göra. Vilket i sin tur påverkade det testtillfälle som personalen fick för att använda prototypen innan de deltog i projektgruppens undersökning.

Om projektet hade utförts igen hade större tyngd lagts på att planera inköp av komponenter från tillförlitliga leverantörer. Detta på grund av att många komponenter beställdes från leverantörer utanför Volvos officiella kanaler vilket gjorde att gruppen fick gå igenom fler mellanhänder vilket förlängde leveranstiderna ytterligare. Gruppen hade ingen kontroll över de felbeställningar som gjordes, därför hade detta inte minimerats av ytterligare planering.

För att få en mer träffsäker bild av vad personalen tyckte om en automatiserad blästringsprocess hade det krävts fler än ett tillfälle att använda prototypen, vilket projektets omfattning inte tillät. För att ge personalen möjlighet att fortsätta utvärdera den förändrade arbetssituationen bestämdes det att prototypen fortsatt skulle användas av personalen på CVL även efter det aktuella projektets slut. Detta gjorde dock att gruppen behövde skapa kompletterande dokumentation för att försäkra att de anställda fortsatt använde prototypen på ett säkert sätt. Gruppen anser att detta är en bra kompromiss när tidsplanen förändrades sent i projektet.

Som nämnt ovan påverkas undersökningens resultat av personalens begränsade tid att använda prototypen innan intervjufrågorna ställdes. Gruppen kan dock med tillräcklig säkerhet fastställa att personalen föredrog den automatiserade blästringsprocessen över den manuella. Detta stärks dessutom av personalens önskemål om att få fortsätta använda prototypen samt frågor kring vidareutveckling som de kan genomföra, vilket är anledningen till att gruppen lade till delkapitlet *5.2 Vidare-*

utveckling. Detta överlämnades i form av underlag och riktlinjer för framtida förbättringar, vilket gruppen var noga att poängtera att det behövdes för att kunna fortsätta använda prototypen under en längre tid.

En anledning till detta är på grund av den begränsade budgeten som gavs i början av projektet. De totala utgifterna exkluderat komponenter eller material som redan fanns på VAS blev 5000 kr, vilket var möjligt då gruppen designade och tillverkade majoriteten av delarna till prototypen själva i VAS maskinverkstad. Om gruppen fått en större budget att röra sig med, hade tillverkningen av prototypen med största sannolikhet tagit mindre tid och mer arbete hade kunnat läggas på genomförandet av undersökningen samt testning av prototypen. Dock kan gruppen inte garantera att de problem med försenade leveranser och felbeställningar inte hade uppstått med en större budget. Det hade kunnat resultera i att fler kritiska komponenter blivit försenade, vilket hade gjort att projektets utfall blivit sämre eller likadant.

Resultaten från de olika experimenten gav i flertalet av fallen förväntat resultat och det förekom väldigt få avvikelser. Detta på grund av att gruppen enbart utförde experiment och tester på dellösningar som redan innan experimenten ansågs lämpliga. Det förekom däremot mindre avvikelser gällande experimenten på skydden då gruppen enbart utgick från mängden sand som släpptes igenom men tog inte hänsyn till placeringen av skydden relativt blästerpistolen i samma utsträckning. Detta gjorde att jämförelsen mellan de olika skydden kan vara aningen missvisande. Utifrån experimenten var det även tydligt att bälg-skydden var överlägset bättre än plåtskydden på att hålla ute sand trots att gruppen fick fel storlek på bälgarna. Det framkom däremot under det slutgiltiga testerna att glidlagren var känsligare för damm än hjulen vilket gjorde att den initiala förbättringen var mindre än gruppen först trott. Hade det funnits mer tid för experiment så hade gruppen önskat att testa fler lösningar för bland annat tätningen. För trots att gummitätningen gav önskat resultat, kan det inte garanteras att det är den bästa lösningen.

Överlag anser gruppen att prototypen samt tillhörande undersökning besvarar de ursprungliga frågeställningarna och till större del lever upp till de mål som ställts. Prototypen har majoriteten av de funktioner och säkerhetssystem som efterfrågats och dess prestanda är mer än tillräcklig för att slutföra en blästring av en plåtbit med gott resultat. Prototypen har även integrerats inuti blästerskåpet vilket var ett önskemål från VAS. Däremot krävs det i nuläget mer underhåll i form av rengöring av axlarna än vad som önskats. Hade gruppen haft mer tid för långtidstester och om leveranser hade skett tidigare i projektet hade detta kunnat minimerats. På grund av mängden underhåll som nu krävs fokuseras de föreslagna vidareutvecklingarna på skydden. Men utifrån undersökningen och gruppens egna önskemål hade andra vidareutvecklare även kunnat innefatta markeringar för olika plåtstorlekar inuti blästerskåpet för att slippa mäta plåten manuellt. Alternativt automatisk inskanning av plåtens dimensioner för att ytterligare effektivisera blästerprocessen.

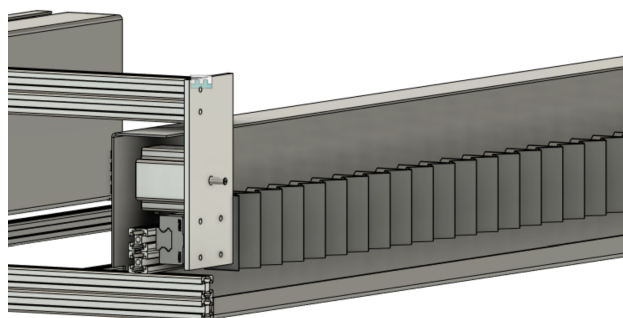
5.2 Vidareutveckling

Gruppen insåg under projektet att den valda designen kunde förbättras med vissa förändringar. Då projektet var såpass långt gången kunde dessa förändringar inte realiseras under den tidsperiod som projektet omfattade. Därför skapade ett dokument med förslag på vidareutveckling som en del i överlämningen av prototypen, för att ge personalen på VAS möjlighet att utföra de rekommenderade uppdateringarna på prototypen efter projektets slut.

Vidareutvecklingen består av rekommendationer utifrån gruppens erfarenheter som samlades in under projektets gång. Dessa förslag är dock inte genomgått en full utvärdering och är endast koncept, därför kan gruppen inte garantera att vidareutvecklingen nödvändigtvis leder till bättre prestanda eller livslängd på prototypen. Det är rekommenderat att både utvärdera konceptet och fortsätta arbeta med det för att göra det till ett färdig lösning som är redo att tillverkas och implementeras i prototypen.

5.2.1 Skydd

Gruppen var i ett tidigt stadium tvungna att välja ett koncept för skydd av axlarna. Detta valdes framförallt baserat på vad som var möjligt att genomföra under den givna tiden för projektet, samtidigt var gruppen rätt begränsad i sin budget vilket påverkade det ursprungliga beslutet. Efter ungefär halva projektet insåg gruppen hur fördelaktigt glidlager med tillhörande bälgar var i form av skydd från sand. Detta var dock efter att skydden för x-axlarna var tillverkade, vilket gjorde att de inte kunde ändras. Dock valde gruppen att använda bälgar till y-axeln, vilket fungerade enligt vad gruppen trodde. Därför rekommenderar gruppen att byta ut x-axlarnas slädar som rör sig med hjälp av hjul mot glidlager på samma sätt som på y-axeln, då kan även de nuvarande skydden bytas ut mot bälgar vilket kommer skydda mot damm och sand utan att kräva lika mycket underhåll som den nuvarande lösningen. Det som krävs för att genomföra denna förändring är att köpa in nya komponenter och modifiera x-axlarnas slädar. Ett konceptuellt förslag visas i figur 5.1.



Figur 5.1: Koncept för nya x-axlar

Det kommer krävas vissa modifieringar på konceptet, då det endast är till för att visualisera gruppens tanke med vidareutvecklingen.

5.2.2 Metod för linjär rörelse

Så som nämnt ovan insåg gruppen att ett glidlager funkade för denna applikation bättre än de valda hjulen, då dessa riskerar att korta livslängden på prototypen genom att skära sig och bli tvungna att bytas ut. Gruppen hann ta beslutet och få komponenterna levererade för att y-axeln skulle fungera med glidlager istället för det tidigare tänkta hjulen. Utifrån testerna av skydd så framkom det även att bälg skydden för glidlagren höll borta mer sand än vad motsvarande skydd för hjulen gjorde. Denna förändring skulle i sådana fall ske enligt beskrivningen i 6.2.1 Skydd.

5.2.3 Förslag på BoM vid vidareutveckling

Ett par nya komponenter kommer att behövas köpas in för att kunna genomföra de uppgraderingarna som gruppen diskuterar ovan. Nedan följer en komplett Bill of Material för att kunna vidareutveckla prototypen. I tabell 5.1 går det att läsa hur antalet av varje komponent, specifikation, om de behöver köpas in externt eller redan finns i VAS maskinverkstad eller inte, samt rekommenderad leverantör och leveranstid.

Tabell 5.1: BoM för vidareutveckling av prototyp

Antal	Komponent	Beskrivning	Tillgänglig på VAS	Inköpsställe	Leveranstid
4	Square bellow covers	För x-axlar, ska passa HGR 15		Aliexpress	2 månader
2	Glidlager	HGR 15		Kullager.se	1 vecka
x	Aluminiumplåtar	4mm, för nya slädar till x-axeln	x		
x	Skrudar/ muttrar	M3/ M4/ M5/ M6	x		
x	Dammborstar	Istället för en gummilist		Amazon	2 veckor

5.3 Slutsats

Syftet med projektet var att undersöka hur de anställda på avdelningen påverkades av en automatiserad blästringsprocess i sitt dagliga arbete. Detta undersöktes genom att konstruera en programmerbar manipulator som placerades i blästerskåpet som de anställda fick använda för att sedan svara på ett par förutbestämda frågor. För att möjliggöra syftet krävdes det att ett par frågeställningar besvarades.

-Hur kan en programmerbar manipulator integreras i ett blästerskåp med begränsat utrymme?

-Hur bör konstruktionen anpassas för att undvika att blästersanden påverkar prototypens funktion?

-Hur kan en programmerbar manipulator ämnad för den givna situationen konstrueras?

Dessa frågeställningar besvarades i rapporten vilket möjliggjorde för gruppen att uppfylla projektets syfte. Förutom det levererade gruppen förslag på vidareutveckling med tillhörande BoM, komplett bruksanvisning och underhållsmanual, fullständig riskbedömning av prototypen inuti blästerskåpet, ritningar av delsystemen, protokoll från de experiment gruppen genomförde samt beräkningsunderlag för de centrala komponentvalen.

Litteraturförteckning

- [1] Arbetsmiljöverket. (2022). Belasta rätt- Repetitivt arbete ska minska . Stockholm: Arbetsmiljöverket.
- [2] Wilson, C.(2013). Brainstorming and Beyond. Oxford: Elsevier.
- [3] J K Gupta och R. S. Khurmi. (2015). Theory of Machines. New Dehli
- [4] Autodesk. (2023). What is CAD software?
- [5] Arbetsmiljöverket. (2022). Riskbedömning - hur allvarliga är riskerna i din arbetsmiljö?. Stockholm: Arbetsmiljöverket.
- [6] Svenska Institutet för Standarder. (2023). ISO, International Organization for Standardization. Stockholm
- [7] (2021) Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots.
- [8] Janis Arents och Modris Greitans. (2022). Smart Industrial Robot Control Trends, Challenges and Opportunities within Manufacturing. Riga
- [9] Marlin. (2023). What is Merlin?
- [10] RS. (2023). A Complete Guide to Microcontrollers
- [11] Arduino. (2023). What is Arduino? <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>
- [12] Post- och telestyrelsen. (2020). Metodguide för inkluderande intervjuer. Stockholm
- [13] Watelectronics. (2021). TB6600 Stepper Motor Driver : Pin Configuration, Interface with Arduino, Working and Its Applications

A

Bill of Material

Antal	Komponent	Beskrivning	Tillgänglig på VAS	Inköpsställe	Leveranstid
3	Nema 23 Stegmotor	24V, 2A/fas, 1.41Nm		Amazon	2 veckor
3	Stegmotordrivare	TB6600	x	Amazon	2 veckor
1	Arduino Mega	Mikrokontroller	x	Elfa	2-5 dagar
1	Ramps 1.4	Kontrollbräda		Electrokit	1 vecka
2	Mekaniska endstops			Elfa	2-5 dagar
1	Bälte 3GT (2GT-3M)	7 m totalt		Electrokit	1 vecka
3	GT3 20t Pulley	8 mm bore, 10mm bredd		Electrokit	1 vecka
20	V-slot hjul	ø25-2RS tätade lager		Amazon	1-2 veckor
1	LCD-skärm	2004A lcd med kortläsare		Amazon	1-2 veckor
1	Solenoidventil	24V, 10 Bar	x	Elfa	2.5 dagar
2	Square bellow covers	För y-axel		Alliexpress	2 månader
1	Gummlist	Behövs skäras ut för att passa	x	Billtema	Köp i butik
1	Nätaggregat	Strömförsörjning, 24V, 360W	x	Elfa	2-5 dagar
2	Hållare blästerpistol		x	Jula eller liknande	Köp i butik
22	Spacer sleeve	Finns på VAS, behöver modifieras		Elfa	2-5 dagar
3	Radialtätning	15x5, ID8		Kullagret.se	1 vecka
3	Kontakt stegmotor			Elfa	2-5 dagar
x	Kablage	Allt finns på VAS	x		
x	Skrubar/ muttrar	M3/ M4/ M5/ M6	x		
x	Aluminiumprofiler	20x20	x		
2	Aluminiumprofiler V-slot	20x60		Amazon	2 veckor
2	Aluminiumprofiler V-slot	20x40		Clas Ohlson	1 vecka
1	Nödstopp		x	RS-online	3-5 dagar
x	Aluminiumplåtar	2mm, 4mm	x		
1	Glidlager	15mm x 15mm(dia), 16mm (axeldia)		Kullager.se	1 vecka
2	Kabelkedjor		x		
x	Angle Brackets	Rexroth	x		
x	Buntband		x		
x	Retainer	Hållare för buntband	x		
2	Armerade PVC-rör	3m		RS-online	3-5 dagar
x	Raufoss housing/ nipple/ tryckluftsrör	Modell small, 6 mm rör	x		
x	Kontakter	Allt finns på VAS	x		

B

Protokoll från experiment

B.1 Protokoll från experiment med motorer, bälten och skydd

B.1.1 Genomförda tester

Everman belt principen där slitage på glidskenor, bälte och hjul analyserats.

Plåtskydd med läpptätning för X-axlarna

Tätning för motor

B.1.2 Testtrigg

-900mm aluminium v-profil där totalt 7 stycken v-hjul glider på varsin sida av profilen

-Vikt på Släden: 1.5kg Nema 23 stegmotor med ett maximalt vridmoment på 1.4Nm, 800 steg/revolution

-GT3-bälten som dras av en GT3 pulley med 20 tänder enligt Evermanprincipen.

-Plåtskydd med gummi tätning enligt bild nedan.

-Radialtätning och 2 mm gummi tätning för motor

-Aluminiumsilikat blåstras med ett tryck på 8 bar

B.1.3 Hur har det testats

-Bältesdrivningen testades genom att köra ett testprogram på en motor och en axel inuti blästerskåpet. Testprogrammet var en kort G-kodssekvens där släden för X-axeln körde fram och tillbaka i varierande hastighet under 5 minuter samtidigt som en plåtbit blåstrades på varierande avstånd från X-axeln. Blästerpistolen kördes

med sitt maximala tryck på 8 bar. Efter att testprogrammet avslutats så analyserades eventuellt slitage på glidskenor, hjul och bälte dokumenterades för att senare jämföra med ursprungsskicket.

-Plåtskydden med tillhörande läpptätning testades under samma testprogram som bältesdrivningen och efter att programmet avslutats så vägdes mängden sand som tagit sig igenom skydden samt på vilket/vilka ställen sanden tenderar att samlas på.

-Tätning av motor testades på liknande sätt som plåtskydden men där istället mängden sand uppskattades med ögonmått och dess påverkan på motorns nyttiga vridmoment ska i ett senare skede avläsas genom att jämföra spänningskurvan för testprogrammet innan och under testet då motorn kräver högre effekt vid högre vridmoment och eftersom att sanden kan öka friktionen på glidbanorna så kommer motorn att behöva kompensera med högre vridmoment för att inte tappa steg.

B.1.4 Resultatet av testerna

Bältesdrivningen fungerade som tänkt och inga precisionsförluster på grund av sanden uppmärksammades. Däremot så påverkades aluminium profilerna av att hjulen rullade över sandkorn och mindre repor uppstod.

Plåtskydden höll ute direkt stänk från blästersanden men däremot så kom lite sand in igenom läpptätningen vilket förvisso var väntat men det är något som kommer att försöka minimeras genom förbättringar av tätningen.

Tätningen för motor höll ute sand helt och motorn påverkades inte alls av sanden tack vare dess radaltätning för motoraxeln och en gummilist vid infästningen.

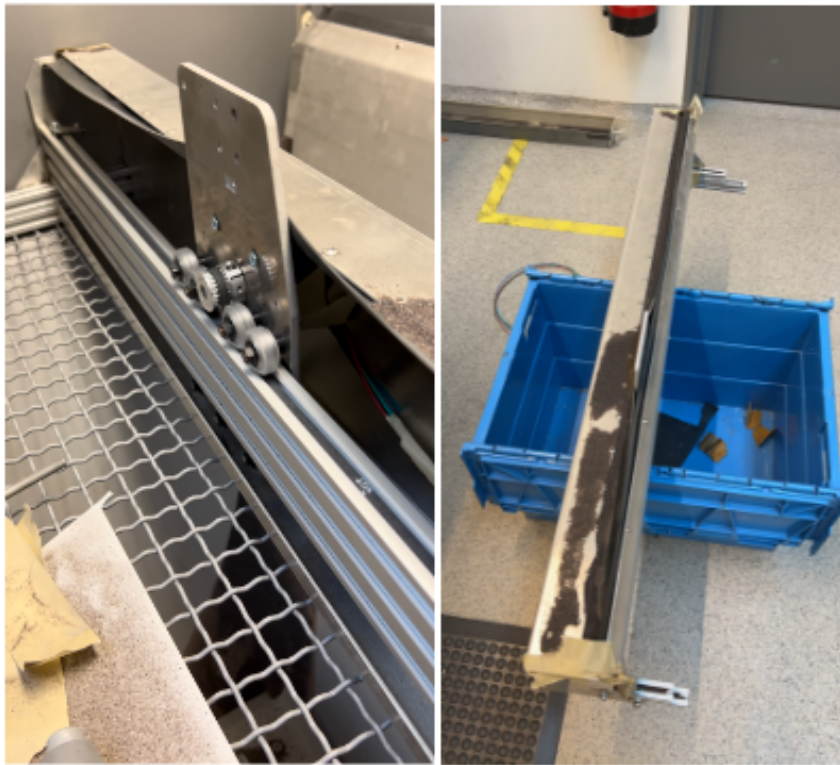
B.1.5 Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet

Implementera borstar eller liknande form av tätning för hjulen så att spåren som hjulen åker i ska vara renare och därigenom förhoppningsvis minska slitage. Olika lösningar gällande att blåsa rent spåren med tryckluft alternativt att trycksätta hela slädarna för att ytterligare minimera hur mycket damm som kommer igenom diskuteras också.

Olika sätt att få ut sanden som samlas på botten inne i plåtskydden diskuteras också. Just nu så har vi gjort framsidan av skydden avtagbar för att kunna blåsa rent och förenkla underhåll men alternativa metoder ska också testas så småningom.

Y-axeln har inte testats men då den gissningsvis kommer att bli mer påverkad av sanden än X-axlarna så ska förmodligen glidskenor med bälgskydd köpas in och därmed byta ut hjulen som finns där just nu.

Liknande test kommer att upprepas för att samla in mer faktisk data och detta testet



Figur B.1: Resultat från testet

har utförts främst för att få en överblick på hur olika delar kommer att påverkas. Se bilder för att få en bättre bild av hur testtriggen såg ut. Testet har även filmats.

B.2 Protokoll från experiment med lilla rörsystemet och hjul

B.2.1 Genomförda tester

Lilla rörsystemet, för att spruta bort luft från axlarna

Tätning av hjul

B.2.2 Testtrigg

-900mm aluminium v-profil där totalt 7 stycken v-hjul glider på varsin sida av profilen Vikt på Släden: 1.5kg

-Nema 23 stegmotor med ett maximalt vridmoment på 1.4Nm, 800 steg/revolution

-GT3-bälten som dras av en GT3 pulley med 20 tänder enligt Evermanprincipen.

-Plåtskydd med gummi tätning enligt bild nedan.

-Skydd kring hjulen som är kopplat till ett 6 mm pvc-rör

-Aluminiumsilikat blåstras med ett tryck på 8 bar

B.2.3 Hur har det testats

-Det lilla rörsystemet tillsammans med det trycksatta skyddet för hjulen testades genom att köra ett testprogram med båda x-axlarna, där den ena hade det nya trycksatta skyddet för hjulen medan det andra endast bestod av de vanliga skydden med gummitätningen. Testprogrammet var en kort G-kodssekvens där släden för x-axeln körde fram och tillbaka under 5 minuter samtidigt som en plåtbit blåstrades. Blästerpistolen kördes med sitt maximala tryck på 8 bar. Efter att testprogrammet avslutats så analyserades eventuellt slitage på glidskenor och hjul, samt hur mycket sand som hade samlats på vardera axel.

-Hjulen med gummitätning testades på samma sätt som ovan, men fokus låg på att analysera resultatet från axeln utan det trycksatta skyddet. Resultatet från testet jämfördes med det från Experiment 1.

B.2.4 Resultatet av testerna

Den sida med det nya trycksatta skyddet som blåste tryckluft på både profilerna och hjulen hade markant med mindre sand som låg kvar på axeln. Detta gjorde även att slitaget på aluminiumprofilerna var mindre än på sidan som inte blåstes av vid körning. Dock kunde gruppen se att en mindre del sand fanns kvar innanför skyddet efter testet.

Hjulen höll sig bra och det syntes inget direkt slitage, lagren var inte heller lika igentäppta som efter genomförandet av Experiment 1. Gruppen kommer därför använda de nya hjulen framöver istället för de gamla med otätade lager.

B.2.5 Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet

Implementera ett permanent mindre rörsystem som kan användas framöver, då gruppen såg så pass stor förbättring på sandsamlingen innanför skyddet. Tryckluften kommer behöva dras från röret till blästerpistolen, hur detta ska göras utan att påverka blästringens funktion behöver studeras. Gruppen kommer även behöva skapa en underhållsmanual för att kunna kommunicera med användarna av prototypen om hur den bör underhållas för att få en bättre livslängd. I den ska det dels nämnas att det krävs att man blåser rent innanför skydden efter varje användning, för att

försäkra att sanden som samlas kvar inte skapar problem med prototypen. De nya tätade hjulen kommer att fortsätta användas framöver.

Liknande test kommer att upprepas för att samla in mer faktisk data och detta testet har utförts främst för att få en överblick på hur olika delar kommer att påverkas. Se bilder för att få en bättre bild av hur testriggen såg ut. Testet har även filmats.

B.3 Protokoll från experiment med arbetsyta

B.3.1 Genomförda tester

Antal olika arbetsytor som kan användas

B.3.2 Testrigg

-Blästerskåp utan några modifieringar

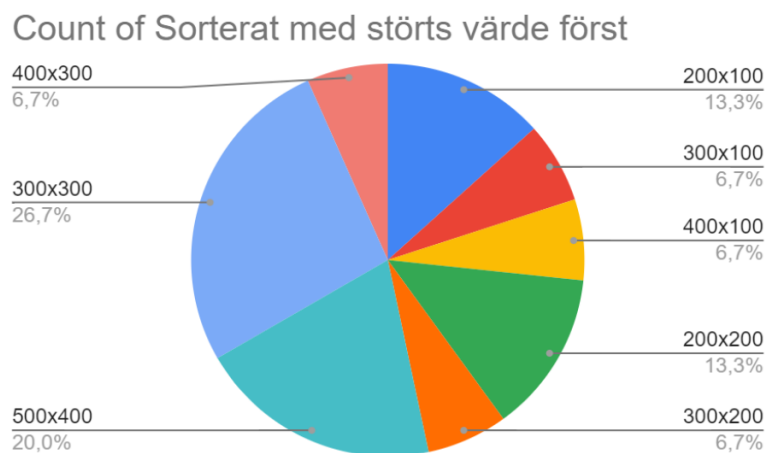
-Aluminiumsilikat blåstras med ett tryck på 8 bar

B.3.3 Hur har det testats

-Gruppen valde att undersöka vilken spridning som storleken av plåtarna hade genom att observera 15 gånger när de anställde blåstrade under olika dagar och projekt. Därefter mäta plåtarnas storlek och notera det, för att sedan skapa ett diagram som visualiserade spridningen. Resultatet fanns sedan som grund för gruppen i beslutet om hur många program som personalen skulle kunna välja mellan.

B.3.4 Resultat av testerna

[H]



Figur B.2: Resultat från testet i cirkeldiagram

Tabell B.1: Resultat från testerna

Observation	Resultat [mm]	Resultat avrundat till närmaste 100 mm	Sorterat med störst värde först
1	220x140	200x100	200x100
2	325x200	300x200	300x100
3	400x260	400x300	400x100
4	152x236	200x200	200x200
5	247x302	200x300	300x200
6	536x385	500x400	500x400
7	536x385	500x400	500x400
8	536x385	500x400	500x400
9	258x340	300x300	300x300
10	258x340	300x300	300x300
11	400x260	400x300	400x300
12	130x195	100x200	200x100
13	210x200	200x200	200x200
14	346x252	300x300	300x300
15	346x252	300x300	300x300

B.3.5 Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet

Från de resultat som presenteras ovan kan gruppen se spridningen på plåtarna som blåstras och hur ofta de förekommer. Därefter kan gruppen ta beslut om antalet program utifrån datan som tagits fram. Sedan kommer gruppen testa upplägget och justera det efter behov

B.4 Protokoll från experiment med skydd y-axel

B.4.1 Genomförda tester

Bälgar till y-axeln

B.4.2 Testrigg

-900mm aluminium v-profil där totalt 7 stycken v-hjul glider på varsin sida av profilen Vikt på Släden: 1.5kg

-Nema 23 stegmotor med ett maximalt vridmoment på 1.4Nm, 800 steg/revolution

-GT3-bälten som dras av en GT3 pulley med 20 tänder enligt Evermanprincipen.

-Plåtskydd med gummi tätning enligt bild nedan.

-Skydd kring hjulen som är kopplat till ett 6 mm pvc-rör

-Glidlager HGR 15

-Bälgar HGR 15

-Aluminiumprofil 600mm

-Aluminiumsilikat blåstras med ett tryck på 8 bar

B.4.3 Hur har det testats

-Bälgarna testades genom att hela prototypen var i sin slutgiltiga konfiguration och kördes i ett testprogram på 5 min upprepade gånger i blästerskåpet för att se hur mycket sand som kommer innanför skydden. Blästerpistolen kördes med sitt maximala tryck på 8 bar. Efter testen studerade gruppen hur mycket sand som samlats innanför bälgarna.

B.4.4 Resultat av testerna

Under testerna så syns inga tecken av försämrad funktion som resultat av de nya bälgarna. Det förekom inget direkt stänk på vitala komponenter och bälgarna verkade vara tillräckligt tåliga för att inte slitras ut av sand stänket. Bälgarna släppte igenom betydligt mindre damm än vad skydden för X-axlarna gjorde under ett liknande test. Däremot så levererades bälgarna i fel storlek vilket gjorde att de inte fungerade exakt som tänkt vilket gruppen tog i hänsyn till när val av vidareutveckling gjordes.

B.4.5 Vidareutveckling och förbättringar som ska göras utifrån vad vi tar med oss från testet

Sedan innan var gruppen tvungna att skapa ett kompletterande bakskydd, då det levererades felaktig storlek på bälgen. Denna konstellation som visas på bilden nedan fungerade dock bra som experimentet visade. Gruppen kommer därför fortsätta använda sig av bälgar på y-axeln, men även överväga ifall x-axlarnas skydd bör bytas ut för att minimera komplexiteten och förbättra x-axlarnas skydd för damm.

B.5 Protokoll från experiment med rekylkraft

B.5.1 Genomförda tester

Den rekylkraft som uppstår när sand sprutas ut ur blästerpistolen, syftet är att verifiera beräkningar som gjorts på rekylkraften samt att kunna kvantifiera kraften för att använda i andra analyser.

B.5.2 Testrigg

-Våg -Blästerpistol -Spännen

Testtriggen bestod av en våg som gruppen fixerade blästerpistolen på med hjälp av kardborreband. Munstycket var riktad i motsatt riktning från vågens platta (uppåt).

B.5.3 Hur har det testats

-Testet utfördes genom att skjuta sand från pistolen under 10 sekunder, pistolen trycks då nedåt och en massa kan därefter läsas av. Efter avläsning så subtraheras blästerpistolens ursprungliga massa och massan som kvarstår är då trycket som kommer från blästerpistolens rekyl. Testet itererades 10 gånger för att kunna ta fram ett medelvärde och därmed minimera risken för mätfel.

B.5.4 Resultat av testerna

Resultatet av testet fås ur figur 1, massan omvandlas här till en kraft med enhet Newton för att kunna användas i framtida beräkningar för bland annat glidlager dimensionering samt för att jämföras med tidigare beräkningar. Den resulterande rekylkraften blev 9.2Nm vilket är 3.35 N högre än vad beräkningarna gav. Detta antogs vara på grund av mindre mätfel samt på grund av de antaganden gällande utgångshastighet som gjordes vid beräkningarna.

Tabell B.2: Resultat från testerna

Test Nr.	Uppmätta värden	Rekylkraft
1	0.9kg	8.829N
2	0.84kg	8.240N
3	1.1kg	10.791N
4	1.4kg	13.734N
5	1.01kg	9.90N
6	0.79kg	7.749N
7	0.95kg	9.320N
8	0.78kg	7.652N
9	0.69kg	6.7689N
10	0.92kg	9.02N

C

Intervjufrågor till anställda

Frågeformulär om manuell blästring:

- Vilka för- och nackdelar finns det med arbetet idag?
- Hur bra är din arbetsställning när du använder blästerskåpet?
- Vad ser du fram emot med förändringen?
- Vad är mest energikrävande med dagens process?
- Anser du att den manuella blästringen kräver mycket tid?

Frågeformulär efter användning av autonom blästring:

- Hur svårt/ enkelt var det att arbeta med prototypen?
- Hur intuitivt var arbetet?
- Vilka för- och nackdelar ser du med prototypen?
- Hur anser du att din arbetsställning har förändrats? Bättre/ sämre?
- Vad finns det för förbättringspotential?

D

Riskanalys

Se bifogad dokument *Riskbedömning* för tabellen i originalformat

Riskbedömning ur arbetsmiljösynpunkt (Version 1.0)

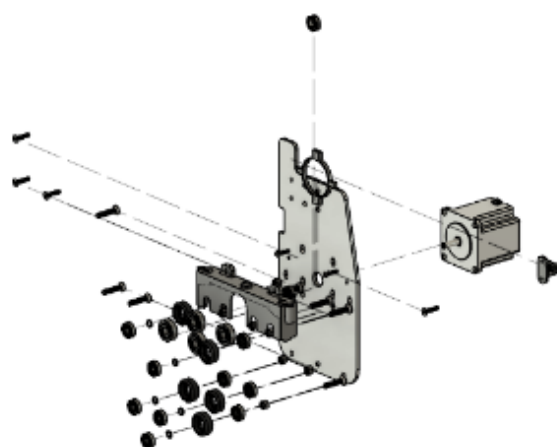
Utvärderare (Närvarande): Erik Svane Användning (Användningsområde/Geografiskt område): BF75700 Bilstenskåp med prototyp, CimpX, CVM Benämning (Mått, ursprung etc. som riskanalysen omfattar): LB 1200 Bilstenskåp med tillagd prototyp	Bedömare: Elisabet Christensen Anders Wallmark Evelin Bergvall Bedömningen baseras på checklistor från av 58	Begärens Måttgård Måttgård	Datum: 8/9/2023 Förändring är utförd på utvärderingen (Vid behov)	Regnr (66 bilprov)
---	--	----------------------------------	---	--------------------

Nr	Problembeskrivning / Aktivitet	Möjliga konsekvenser (Arbetsmiljösvårigheter)	Index			Problem läsare	Måttgård	Plan Kart datum	Status	Gör till ändring	Kommentar & övrig information
			S	K	I						
1	Inte stängd dörr - risk för damm i lokalen	Skador på ögon och lungor	4	2	8		Sätt konitor som gör det omöjligt att ha öppen dörr vid användning.		Klart	Ja	Risken är eliminerad med den utförda måttgård.
2	Vid blåstning	Skador på händer och armar	1	2	2		Sätt konitor som gör det omöjligt att ha öppen dörr vid användning		Klart	Ja	Risken är eliminerad med den utförda måttgård
3	Snedvid bilstenskåp	Nerv- och brännskador	2	4	6		Förse elslaget med en låsordning som gör det omöjligt att öppna utan specialverktyg		Klart	Ja	Risken är minimerad med den utförda måttgård
4	Lägga in plåt efter start av bilsternrobot	Skador på händer och armar	2	2	4		Förse roboten med en bokaanvisning för att informera användaren om korrekt placering av plåten	Ja	Klart	Ja	Risken är minimerad med den utförda måttgård
5	Hantering av plåt	Risk att skada sig på vassa kanter	2	2	4		Använda skärskyddshandskar		Klart	Ja	
8	Stoppa in handens i armarna för bilsternrobot mellan händer och armar	Kännskador på händer och armar samt brännskador på händer och armar	2	3	6		Montera stoppklassar som förseglar armarna mellan roboten och armar		Klart	Ja	Risken är minimerad med den utförda måttgård
9	Medan blåstning pågår	Hörselskador	3	1	3		Hörselskydd skall användas		Klart		
10	Medan blåstning pågår	Brännskador	2	4	6		Installation av säkringar och hörselskydd samt brandsläckare i lokalen		Klart	Ja	Risken är eliminerad med den utförda måttgård
11	Medan blåstning pågår	Huvudskak och ont i ögonen	3	1	3		Byt ut glasögon använd roboten		Klart		
12	Ta ur in plåt eller byt in annan plåt	Ongonkador	1	2	2		Informera om det är tydligt med vilken sida plåten är samt genomföra handling		Klart		
13			0	0							
14			0	0							
15			0	0							

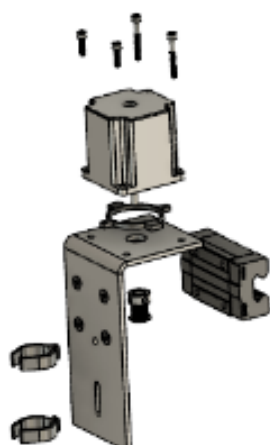
E

Ritningar

E.1 Släde x-axel i sprängvy



E.2 Släde y-axel i sprängvy



F

Bruksanvisning och underhållsmanual

Se bifogat dokument *Bruksanvisning Blästerskåp*

G

Beräkningar

G.1 Motorer

Motorberäkningar

$$T_a = T_c + T_{ac} = T_c \cdot (1 + \alpha)$$

Konstant hastighet

$$T_c = \frac{F_a \cdot r}{1000 \cdot n} \quad [F_a = m \cdot g \cdot \mu = 6 \cdot 9,82 \cdot 0,3 = 17,676]$$

$$= \frac{17,676 \cdot 6}{1000 \cdot 0,8} = 0,13157 \text{ N}$$

Serbingsrad

Acceleration

$$T_a = T_c + T_{ac} \Rightarrow T_a = T_c \cdot (1 + \alpha) = 0,13157 \cdot (0,0005248 \cdot 157,07) = 0,215 \text{ N} //$$

$\alpha = 6\%$

Bältesdrivning (steg/mm)

$$\text{steg/mm} = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{\text{microsteg}} \cdot \text{motor steg/rev} \cdot \frac{1}{\text{pulley tänder}}$$

$$\text{steg/mm} = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot 200 \cdot \frac{1}{20} = 2,5 \text{ steg/mm}$$

$p = \text{bältesstigning} = 3 \text{ mm}$
 $\text{microsteg} = 1/4$
 $\text{motor steg/rev} = 200 \text{ (1,8° per steg)}$
 $\text{pulley tänder} = 20$

Nema 23 motor 1,8° = 200 steg per rev.

microsteg = $\frac{1}{4} \Rightarrow 4 \cdot 200 = 1600 \text{ steg/rev}$

Vridmomentberäkning vid mikrostep

$$T_u = T_{\text{app}} \cdot \sin\left(\frac{90^\circ}{2 \cdot \text{microsteg}}\right)$$

$\mu_{\text{app}} = \text{antal mikrostep per fullt steg} = 4$
 $N = \text{körda mikrostep} = 1$
 $T_{\text{app}} = \text{hållningsmoment} = 198 \text{ oz/in}$

$$T_u = 198 \cdot \sin\left(\frac{90^\circ}{2 \cdot 4}\right) = 39,6207 \text{ in} = 0,2727 \text{ Nm} //$$

vid $1/4$ mikrostepning förökas $1,4 \cdot 0,2727 = 1,1273 \text{ Nm}$ eller $40,5\%$ av totala vridmomentet

- moment som krävs: $0,215 \text{ Nm}$
- tillgängligt moment: $2 \cdot 0,2727 \text{ Nm} = 0,5454 \text{ Nm}$
- säkerhetsmarginal = $253,6\%$ eller $2,53x$

vid full stepning:

- moment som krävs: $0,215 \text{ Nm}$
- tillgängligt moment: $2 \cdot 1,4 = 2,8 \text{ Nm}$
- säkerhetsmarginal = 1300% eller $13x$

$$J_f = J_m + J_c + J_{p1} + J_{p2} + J_l$$

J_m = tröghetsmoment motor, kgm^2
 J_c = tröghetsmoment koppling, kgm^2
 J_{p1} = tröghetsmoment driver pulley
 J_{p2} = tröghetsmoment idler pulley
 J_l = tröghetsmoment last

[idler = slät]
[driver = tandad]

$$J_l = (m_l + m_b) \cdot r^2 \cdot 10^{-6}$$

m_l = extern last = 6 kg
 m_b = massa bälte = 0,3 kg
 r = 5 mm

$$J_l = (6 + 0,3) \cdot 6^2 \cdot 10^{-6} = 0,002268 \text{ kg/m}^2$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \cdot t} = \frac{2\pi \cdot 3000}{60 \cdot 2} = 157,07 \text{ 1/s}$$

$$J_m = 280 \text{ gcm}^2 \text{ (enligt Nema 23 datablad)}$$

$$J_c = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,025 \cdot 0,06^2 = 45 \cdot 10^{-6}$$

massa pulley

$$J_f = 0,002268 + (45 \cdot 10^{-6}) \cdot 6 + 0,000240 = 0,005248 \text{ kgm}^2$$

G.2 Rekylkraft

Rekylkraft

massflöde:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$$

$$\dot{V} = 16,67 \text{ L/s} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 1,9 \cdot 0,016 = 0,0304 \text{ kg/s}$$

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m} \quad v = v_1 - v_0 = 195 - 0 = 195 \text{ m/s}$$

$$\rho_{\text{sand}} = 1,9 \text{ g/cm}^3$$

$$v_0 = 0 \text{ m/s}$$

$$v_1 = 195 \text{ m/s}$$

$$\dot{V} = 16,67 \text{ L/s}$$

Reaktionskraft

$$\text{Impulslagen} = dp = F dt$$

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} m v = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} \Rightarrow F = v \cdot \frac{dm}{dt} = 195 \cdot 0,0304 = 5,93 \text{ N}$$


Verifiering av massflöde
uppmätta värden

$$t = 10 \text{ s}$$

$$\left. \begin{array}{l} m_1 = 0,4 \text{ kg} \\ m_2 = 0,32 \text{ kg} \\ m_3 = 0,51 \text{ kg} \\ m_4 = 0,44 \text{ kg} \\ m_5 = 0,29 \text{ kg} \\ m_6 = 0,49 \text{ kg} \end{array} \right\} 0,4083 \text{ kg} \Rightarrow \dot{m} = \frac{0,4083}{10} = 0,04083 \text{ kg/s}$$

G.3 Glidlager

Glidlager



m_1 = massa plåt + infästning + pistol
 m_2 = massa motor + kugghjul
 F_r = rekytkraft pistol

$m_1 = 0,065 + 0,03 + 1,25 = 1,345 \text{ kg}$
 $m_2 = 0,55 + 0,025 = 0,575 \text{ kg}$
 $F_r = [\text{från test}] = 9,2 \text{ Nm}$

$\vec{A} : 0,01 \cdot m_1 - 0,01 \cdot F_r - 0,025 \cdot m_2 =$
 $0,01 \cdot 1,345 - 0,01 \cdot \frac{9,2}{9,81} - 0,025 \cdot 0,575 = -0,01 \cdot 9,81 = -0,1 \text{ N} //$

utan att skjuta sand

$\vec{A} = 0,01 \cdot 1,345 - 0,025 \cdot 0,575 = -0,13051 \cdot 9,81 = -1,279 \text{ N} //$

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS