Examensarbete

HÖGSKOLAN I SKÖVDE

UTVECKLING AV ETT LYFTVERKTYG FÖR SKIVFORMADE PRODUKTER

DEVELOPMENT OF A VACUUM LIFTER FOR SHEET MATERIALS

Examensarbete inom huvudområdet
Integrerad Produktutveckling
Grundnivå 22.5 Högskolepoäng
Höstterminen 2013

Louise Andersson och Stefan Erlandsson

Handledare: Peter Thorvald, HiS
Examinator: Erik Brolin, HiS

Försäkran

Denna uppsats har 2014-03-20 lämnats in av Louise Andersson och Stefan Erlandsson till Högskolan i Skövde som uppsats för erhållande av betyg på grundnivån inom huvudområdet Integrerad Produktutveckling. Undertecknad intygar att för allt material i denna uppsats som inte är eget arbete har källan redovisats och att undertecknad inte – för erhållande av poäng - har innefattat något material som redan tidigare har tillgodoräknats inom undertecknades akademiska studier.

Louise Andersson *Stefan Erlandsson*

Sammanfattning

Under höstterminen 2013 har Stefan Erlandsson och Louise Andersson, designingenjörsstudenter på Högskolan i Skövde, utfört ett produktutvecklingsprojekt i samarbete med entreprenören Lars Willebrand. Målsättningen för projektet var att utveckla ett lyftverktyg som ska komplettera Willebrands produktserie bestående av; travers, svängkran, plåtbyrå och lyftverktyg. Lyftverktyget ska vara anpassat för att användas i kombination med en plåtbyrå, vilket innebär att det kommer användas till att lyfta material från höga och låga höjder. Lyftverktyget måste därmed konstrueras i syfte att underlätta för användaren och undvika arbetsskador som kan uppstå vid dessa lyft. Lyftverktyget ska även kunna anpassas till kunder som endast avser att lyfta skivformade produkter i midjehöjd.

Projektet inleds med en förstudie där mycket fokus läggs på ergonomi och användaren. Förstudien har gjorts genom fördjupning i relevant litteratur, kontakt med industriföretag och genom att analysera konkurrerande lyftverktyg. Resultatet från förstudien har sammanfattats till en kravspecifikation som legat till grund för konceptframtagningen. Konceptframtagningen har skett stegvis, där lyftverktygets huvudfunktioner utvecklats var för sig. De funktioner som utvecklats är justering av sugkopparnas position, manövrering och lyft vid hög/låg höjd. Alternativa lösningar har tagits fram och utvärderats för att hitta den lämpligaste lösningen på varje enskild funktion. När de bästa lösningarna hade tagits fram sattes dessa samman till ett slutgiltigt koncept.

Det slutgiltiga konceptet har analyserats och detaljutvecklats. För att underlätta tillverkning och tillgodose kundens behov har många av lyftverktygets delar anpassats och ritats om. För att säkerställa att lyftverktyget lever upp till kravspecifikationen har hållfasthetsberäkningar och en antropometrisk analys genomförts. Projektets process och resultat sammanfattades och diskuterades. Slutligen gavs förslag på rekommendationer för fortsatt utveckling av lyftverktyget.

Abstract

During the second semester of 2013, product design engineering students Stefan Erlandsson and Louise Andersson have been involved in a project in cooperation with entrepreneur Lars Willebrand. The main objective of this project has been to develop a lifting tool for sheet materials. The lifting tool is one of four different products developed by Lars Willebrand. The line of products also includes an overhead crane, a slewing crane and a storage drawer for metal sheets, which are already fully developed and ready for production. The purpose of this lifting tool is to be used along with the storage drawer which means that is has to be optimised for lifting sheet materials from different heights. This means that the lifting tool has to be designed with regards to the users working postures. Human factors such as ergonomics have to be taken into account as well.

The initial part of the project is a pre-study with focus on ergonomics and human factors. This pre-study included a study in relevant literature, contact with a manufacturing company and an analysis of the possible competitor's lifting tools. The results from the pre-study have further been used to define the specification of requirements, which is the foundation for the concept development. The concept development has undergone a number of different phases. All of the lifting tool's main functions were broken down and developed individually. The functions were as follows; adjustment of the suction cups, lifting from different heights and handling. The most suitable solution for each main function were chosen and assembled into one final concept.

The final concept has been analysed and further developed in order to please the employer and the users of the lifting tool. Some details in the design have been changed in order to ease the manufacturing of the lifting tool. To ensure that the final concept matches the specification of requirements, strength calculations and FEM analysis have been made and anthropometrical measurements have been taken into account. The final chapters include a discussion and recommendations for further development of the lifting tool.

Tack till

Lars Willebrand, Projekt Plåthantering

Kent Johansson, Åkleby Mekaniska AB

Peter Thorvald, Högskolan i Skövde

Erik Brolin, Högskolan i Skövde

Stefan Zomborcsevics, Högskolan i Skövde

Karl Mauritsson, Högskolan i Skövde

Tomas Walander, Högskolan i Skövde

Christian Bergman, Högskolan i Skövde

Lennart Ljungberg, Högskolan i Skövde

Jan Adolfsson, AB Furhoffs Rostfria

Anders Torgin, AB Furhoffs Rostfria

Elisabeth Erlandsson

Carl-Johan Friberg

John Gustavsson

Madeleine Wångdahl

Familj

Vänner

Även ett stort tack till alla som ställt upp på användartester och enkätundersökningar.

Innehållsförteckning

1 Inledning ... 1
1.1 Uppdragsgivaren ... 1
1.2 Uppdragsbeskrivning ... 1
1.3 Metod ... 2
1.4 Rapportuppbyggnad ... 3
2 Förstudie ... 5
2.1 Lyftutrustning ... 5
2.2 Ergonomi ... 8
2.2.1 Fysisk ergonomi ... 8
2.2.2 Kognitiv ergonomi ... 10
2.2.3 Utvärdering av ergonomi ... 11
2.3 Konkurrentanalys ... 12
2.4 Marknad ... 13
2.5 AB Furhoffs Rostfria ... 13
2.6 Kravspecifikation ... 15
3 Konceptgenerering ... 17
3.1 Tiltfunktion ... 18
3.2 Lyft av en skiva i taget ... 18
3.3 Justering av sugkopparnas position ... 19
3.4 Lyft vid hög/låg höjd ... 21
3.5 Manövrering ... 23
3.6 Sammanfattning av konceptgenerering ... 24
4 Konceptval ... 25
4.1 Justering av sugkopparnas position ... 25
4.2 Lyft vid hög/låg höjd ... 26
4.3 Manövrering ... 27
4.4 Sammanfattning av konceptval ... 28
5 Detaljdesign ... 30
5.1 Låsning av ledad arm ... 30
5.2 Applicering av antropometriska mått ... 30
5.3 Användarstudie för optimal greppbredd ... 31
5.4 Modeller av manöverpanel ... 32
5.5 Symbolanvändning ... 33
5.6 FMEA ... 35

5.7 Materialval ... 36
5.8 Hållfasthetsberäkningar och FEM-analys ... 36
6 Resultat ... 39
6.1 Utvärdering av resultat ... 42
7 Diskussion ... 43
7.1 Alternativa metoder ... 44
7.2 Rekommendationer för vidare arbete ... 44
Referenser ... 46

1 Inledning

Ett lyftverktyg är ett vanligt förekommande hjälpmedel inom industrin. Det används i situationer då tunga föremål ska lyftas, exempelvis säckar, kartonger eller skivformade material. Lyftverktyget minimerar risken för onödig fysisk påfrestning för användaren. Detta projekt avser utveckling av ett lyftverktyg för skivformade produkter, i huvudsak plåtar. Problemet med dagens lyftverktyg för skivformade produkter är att de inte är anpassade för lyft vid höga och/eller låga höjder. Detta innebär möjligheter för förbättring inom ergonomi. Lars Willebrand, som är uppdragsgivaren i detta projekt, efterfrågar ett lyftverktyg som ska komplettera hans produktserie, fungera i kombination med en plåtbyrå och vara anpassat för plåtar av standardstorlek 2x1 m, 2,5x1,25 m och 3,0x1,5 m.

1.1 Uppdragsgivaren

Examensarbetet utförs i samarbete med Lars Willebrand, Projekt Plåthantering, som arbetar med att utveckla en produktserie bestående av fyra olika delar. De fyra delarna är; travers, svängkran, plåtbyrå och själva lyftverktyget. Travers och svängkran är redan färdigutvecklade och har levererats till kund. Det finns produktionsunderlag för plåtbyrå och därmed återstår konstruktion av själva lyftverktyget.

1.2 Uppdragsbeskrivning

På många av de lyftverktyg, se figur 1, som används på industrierna idag finns det rum för förbättringar vad gäller konstruktionen, framför allt när det gäller ergonomi. Problem uppstår då lyft sker från höjder som är över eller under midjenivå. Detta fenomen är vanligt på de industrier där plåtbyrå används. I många fall har mindre eftertanke lagts på manöverdonet och även där finns det rum för förbättringar när det gäller ergonomi. Intressenter är företag och dess personal som bedriver hantering av skivformade produkter, exempelvis plåt. Dessa skulle kunna tjäna på det i form av minskade arbetsskador och sjukskrivningar på grund av undermålig hänsyn till ergonomi.

Figur 1. Ett lyftverktyg (TAWI, 2013).

Uppdraget är att utveckla ett lyftverktyg som är anpassat till de övriga delarna i Lars Willebrands produktserie; travers, svängkran och plåtbyrå. Lars Willebrand har önskemål om några specifika funktioner som ska finnas med på lyftverktyget vilka är följande:

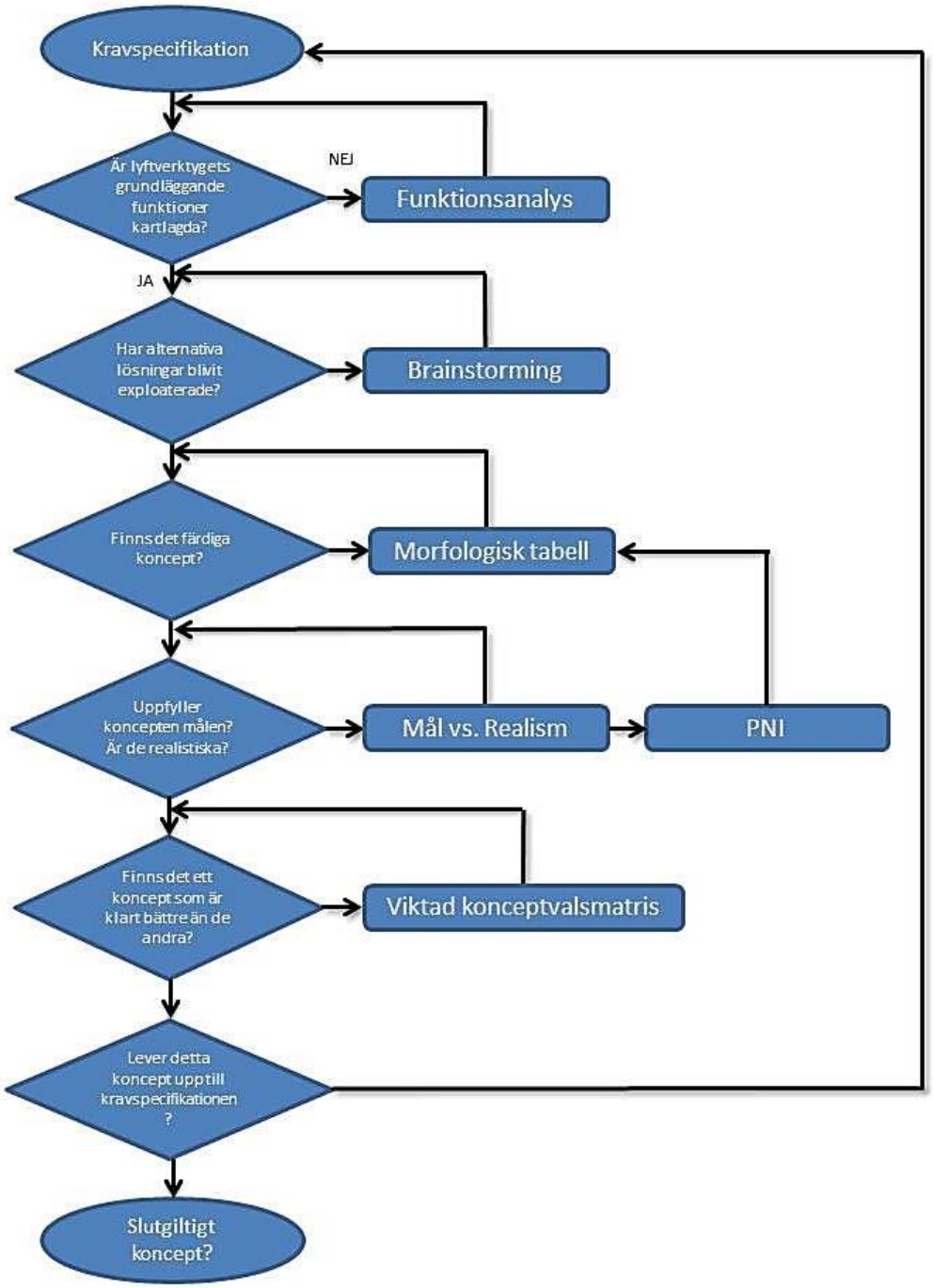
- Tiltfunktion
- Flexibelt handtag eller annan typ av konstruktion
- Ergonomiskt utformat manövreringsdon

Tiltfunktionen är till för att kunna flytta plåtar från ett horisontellt till vertikalt läge och omvänt. Denna funktion är önskvärd då de flesta lyftverktyg på marknaden använder denna funktion. För att lyftverktyget ska vara optimerat för de industrier som använder plåtbyråer måste det vara konstruerat för att underlätta vid lyft från höga och låga höjder. Detta ska lösas genom ett flexibelt utformat handtag eller annan typ av konstruktion som medför att användaren behåller en ergonomisk arbetsställning vid höga och låga lyft, genom hela rörelsen. Manövreringsdonet ska vara anpassat så att det kan användas av majoriteten av användare samt att det ska underlätta och kännas bekvämt vid förflyttning av lyftverktyget i sidled.

Ett nytt koncept på lyftverktyg kommer att tas fram genom att använda en skräddarsydd produktutvecklingsprocess. Denna process är framtagen utifrån vanlig förekommande litteratur inom ämnet integrerad produktutveckling och beskrivs mer utförligt i kapitel 1.3. Utvecklingen av lyftverktyget kommer att ske i flera faser, där lösningar på varje enskild funktion tas fram var för sig. När de lämpligaste lösningarna på varje funktion tagits fram och utvärderats kommer dessa sättas samman till ett färdigt koncept. Det slutgiltiga konceptet kommer att redovisas i form av en fullständig CAD-modell och färdiga ritningar.

1.3 Metod

Först genomförs en förstudie som sammanfattas till en kravspecifikation. Denna ligger sedan som grund för konceptutvecklingsfasen. Tanken med den framtagna produktutvecklingsprocessen är att utvecklingen ska ske i flera faser. Cross (2008) föreslår att produktutvecklingen sker i flera steg genom att först börja med de mest grundläggande lösningarna och utveckla detaljerna sist. Eftersom lyftverktyget har flera grundläggande funktioner utförs först en funktionsanalys. När denna är genomförd följer utvecklingsprocessen enligt figur 2 på varje enskild funktion på lyftverktyget och verkar som en riktlinje för utvecklingen av nya lösningar. Det första steget är att genomföra någon form av brainstorming för att först och främst få fram kvantitet på lösningar. Dessa utvärderas sedan genom PNI (Positivt, Negativt och Intressant) och måluppfyllelse- och realiserbarhetsdiagram och vid behov morfologisk tabell. Slutligen jämförs lösningarna med hjälp av en viktad konceptvalsmatris där förhoppningsvis endast en lösning återstår. När en lösning tagits fram jämförs denna mot kravspecifikationen. Om det skulle visa sig att denna inte lever upp till kraven, upprepas processen i hopp om att finna en bättre lösning. Vid behov kan denna process upprepas flera gånger för att gå från konceptdesign till detaljdesign som Cross (2008) beskriver. När de bästa lösningarna på varje funktion tagits fram kommer dessa att sättas samman till ett slutgiltigt koncept.



Figur 2. Utvecklingsprocessen.

1.4 Rapportuppbyggnad

Rapporten är uppbyggd av huvudkapitel där kapitlets innehåll inledningsvis förklaras. Den första delen av rapporten, Kapitel 2, består av en förstudie där information från lämplig litteratur granskas för att skapa en god grund för resten av projektet. Ergonomi och några av dess undergrupper, såsom antropometri, mappning och så vidare är en stor del av förstudien. Företaget AB Furhoffs Rostfria har även medverkat med information och synpunkter som är relevant för den fortsatta utvecklingen av lyftverktyget. De främsta konkurrenternas produktutbud har även granskats för att till sist kunna sammanställa all information till en kravspecifikation.

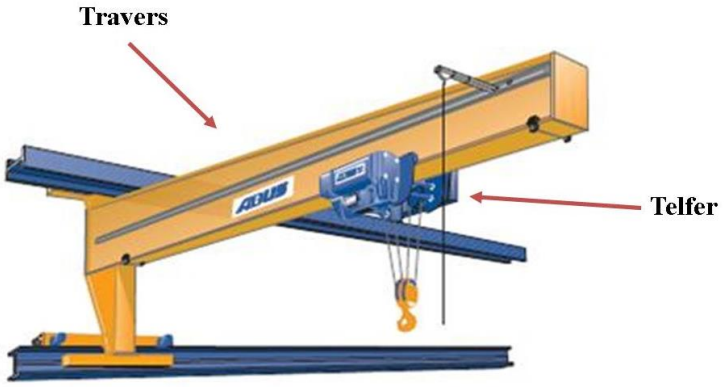
Kapitel 3 består av konceptgenerering där de olika delarna på lyftverktyget utvecklas var för sig för att enkelt kunna följa komponenterna i dess utveckling. I kapitel 4 sker konceptvalet för de olika delarna. Detaljdesignen av koncepten sker i kapitel 5. I detta kapitel appliceras ergonomikunskaperna och modeller skapas och utvärderas av testgrupper. Hela konceptet utvärderas med hjälp av en felriskanalys, även kallad FMEA, och material väljs för lyftverktyget för att till sist analysera dess hållfasthet. Det slutgiltiga konceptet av lyftverktyget behandlas i kapitel 6 där även utvärdering sker. Slutligen diskuteras projektet i kapitel 7 där även förslag på rekommenderat vidarearbete ges.

2 Förstudie

Enligt Tonnquist (2010) ska en förstudie alltid genomföras i början av ett projektarbete med syfte att minska osäkerheten kring projektet. I projektets uppstart informerade uppdragsgivaren om själva grunden till projektet; funktion och uppbyggnad av travers, svängkran, lyftverktyg och plåtbyrå vilket visas i detta kapitel. En fördjupning skedde även inom ergonomi anpassat för arbetssituationen som projektet innebar. Aktuella konkurrenter och deras produkter analyserades och den aktuella marknaden klargjordes. Information från AB Furhoffs Rostfria i Skövde dokumenterades för att få djupare information till förstudien. Slutligen sammanfattades förstudien och låg huvudsakligen som grund till kravspecifikationen.

2.1 Lyftutrustning

En travers är en sorts lyftkran som används tillsammans med ett lyftverktyg. Denna löper på balkar och är monterad i taket på industrilokalen, se figur 3. Traversen går att flytta i balkarnas längdriktning. På traversen sitter vanligtvis en telfer monterad och denna möjliggör förflyttning i sidled längs en tvärbalk och i höjdled med hjälp av en kätting. Kättingen som är fäst i telfern drivs av en elmotor. Själva lyftverktyget fästs sedan i en krok på kättingen. Med hjälp av traversen och telfern kan alltså lyftverktyget manövreras i både höjd-, längd- och sidled.

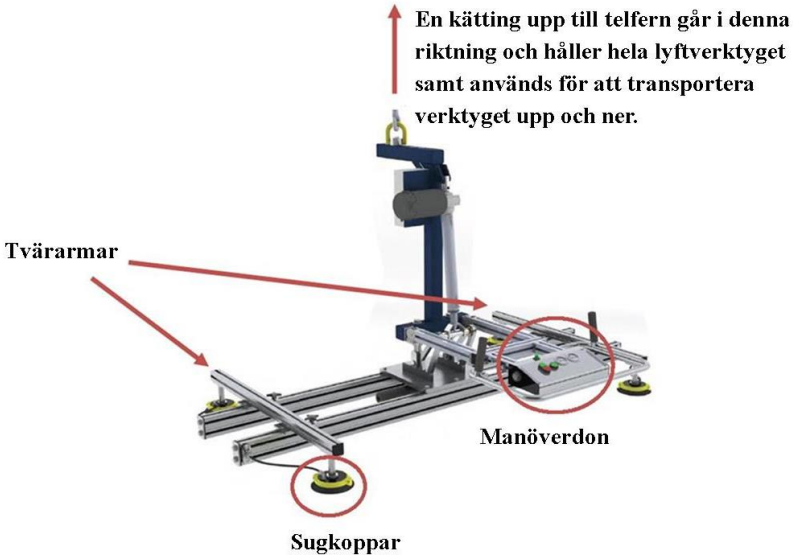


Figur 3. Exempel på en travers med tillhörande telfer (Abus kransystem, 2013a).

En svängkran kan monteras på en vägg eller på golvet, se figur 4. Med en svängkran kan lasten ha en svängrörelse på upp till 360 grader även om detta inte alltid är möjligt beroende på lokalens utformning. En av anledningarna till att välja en svängkran istället för en travers är om det aktuella arbetsområdet är begränsat och inte behöver ha det stora rörelseområdet som en travers kan bidra med. Alternativt att själva industrilokalen har begränsad takhöjd.

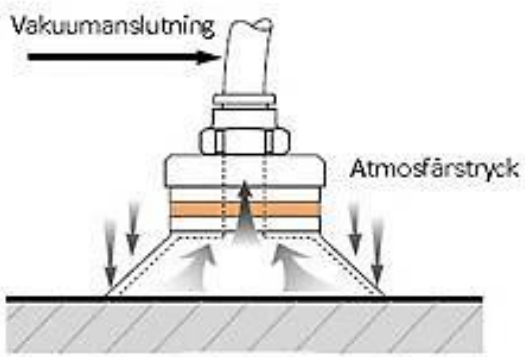
Figur 4. Exempel på en svängkran med tillhörande telfer (Abus kransystem, 2013b).

Ett lyftverktyg används vid tunga lyft och då det finns risk för onödig påfrestning på kroppen. Vanliga lyftobjekt är tunga lådor, säckar och plåtar och även andra skivformade material som exempelvis spånskivor. I figur 5 visas ett vanligt förekommande lyftverktyg med förklarande begrepp.



Figur 5. Ett lyftverktyg med klargörande begrepp (efter TAWI, 2013).

Sugkopparna fungerar på så sätt att de ansluts till tryckluft som transporteras i slangar ner till sugkoppens undersida. När sugkoppen har kontakt med underlaget kan luft sugas upp i slangen och täta till sugkoppen mot underlaget – det bildas vakuum (se figur 6). Beroende på vilken diameter och egenskaper som väljs på sugkoppen kan lasten varieras.

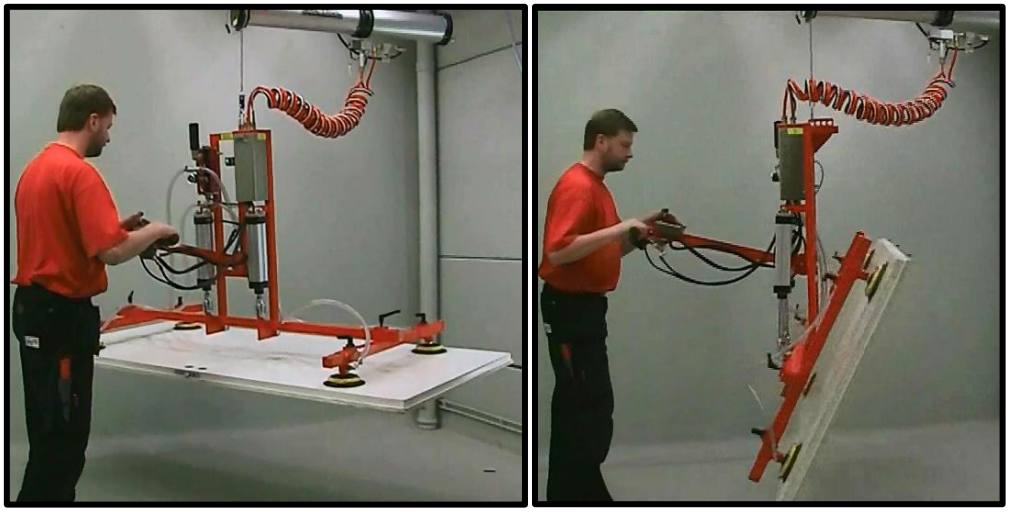


Figur 6. Hur sugkoppar fungerar på ett lyftverktyg (Abeja, 2013).

En plåtbyrå kan användas som hjälpmedel på en industri. Plåtarna ligger i lager på olika hyllplan, organiserade efter tjocklek och storlek. För att förflytta en plåt dras det önskade hyllplanet ut och lyftverktyget placeras på plåtytan, se figur 7. Lyftverktygets sugkoppar sugs fast på plåten med hjälp av vakuum och användaren transporterar sedan plåten till exempelvis en laserskärmaskin.

Figur 7. Ett exempel på en plåtbyrå (PMH, 2013).

I vissa fall ska plåten transporteras till ett vertikalt ställ där plåten måste vinklas från ett horisontellt läge till vertikalt – tiltas (figur 8). Tiltfunktionen kan även vara aktuell vid trånga passager.



Figur 8. Ett lyftverktyg "ProWood" från Lifts All där den skivformade produkten är i horisontellt läge i vänstra figuren och tiltad i den högra figuren (Lifts All, 2013).

2.2 Ergonomi

Ergonomi kan delas in i tre olika fack; fysisk ergonomi, kognitiv ergonomi och organisationsergonomi (McCauiey Bush, 2012). Ergonomi bör inkluderas under hela produktutvecklingsprocessen, helst i ett så tidigt skede som möjligt (Feyen, 2000). I detta fall ska fokus läggas på fysisk- och kognitiv ergonomi genom att bland annat använda antropometriska mått och kunskap om människans kognitiva möjligheter och begränsningar. Ergonomi tillkom egentligen, som många andra innovationer och tekniska begrepp, inom militären (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999). Enligt svensk standard definieras ergonomi som "*Ett tvärvetenskapligt forsknings- och tillämpningsområde som behandlar integrerad kunskap om människans förutsättningar och behov i samspelet människa-teknik-miljö vid utformning av tekniska komponenter och arbetssystem.*" (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999, s. 39).

Ingenjörer använder ergonomisk information oväntat lite menar Skepper, Straker och Pollock (2000). Det kan ha att göra med att ergonomi har blivit ett så pass välkänt ord för allmänheten att marknaden gör reklam och använder ordet för att beteckna kvaliteten på designen och användbarheten istället för att använda begreppet i korrekta situationer. Detta medför att begreppet har tappat lite av sin mening. Datorbaserade program gör ergonomi mer tillgängligt för ingenjörer och produktutvecklare för att undvika det vanliga misstaget att ta alla kroppsmått från den "normala mannen" (Skepper, Straker & Pollock, 2000). Användarspannet är mycket större än så och ska tas hänsyn till när målgruppen är stor för en produkt, som för detta lyftverktyg.

Enligt Gyi, Porter och Case (2000) skyller kunder hellre på sina egna brister och kunskap än på produktens när det krånglar. Detta är något som är viktigt att tänka på när en ny produkt ska designas. Kan produktens delar och funktioner missuppfattas? Kan detta åtgärdas? Detta är något som kan tas hänsyn till i detaljfasen för att optimera produktens utseende och användning.

2.2.1 Fysisk ergonomi

Arbetsmiljön påverkar företagets framgång och förbättringar gynnar både företagets personal och ekonomi (Rose, Orrenius & Neumann, 2013). Vid utveckling av produkter förekommer att ergonomi nedprioriteras, trots att relativt små förändringar kan göra stor skillnad (Das & Sengupta, 1996). Dålig ergonomi kan ibland leda till onödiga personskador på arbetsplatsen. Då det förekommer variation i storlek på olika användare är det viktigt att utrustningen är anpassad på ett sådant sätt att den kan användas av både stora (95:e percentilen) och små (5:e percentilen) personer. Detta kan man kontrollera genom att använda antropometriska mått. Att använda antropometriska mått är något som kommer vara väsentligt vid utformningen av lyftverktyget eftersom det kommer att användas i olika arbetsställningar, vilket i sin tur ställer högre krav på ergonomin.

Belastningsergonomi är ett kunskapsområde där målet är att anpassa arbetet efter människans behov och förutsättningar (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999). Rent teoretiskt finns det en optimal funktionsnivå i arbetslivet för varje människa. Holmström, Eklundh och Ohlsson (1999) menar att på denna funktionsnivå ska personal kunna arbeta under ett helt arbetsliv utan att få belastningsskador. Människans kropp är gjord för rörelse i och med bakgrunden som jägare men under årtusendens lopp har belastningsmönstret förändrats från en hög total belastning till långvariga och ensidiga lokala belastningar (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999). Arbetet har alltså blivit mer monotont och passivt vilket kan öka skaderisken eftersom både för hög och för låg belastning kan skada (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999). Exempel på hög total belastning är skogsarbete där arbetet engagerar stora delar av kroppens muskulatur, jämfört med exempelvis datoranvändning som är lokal belastning och som omfattar avgränsade delar av kroppen (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999). Om ett stort antal plåtar lyfts varje dag är risken stor att detta arbete blir monotont för användaren. Detta kan medföra förslitningsskador på användarens kropp.

En kroppsdel som är särskilt utsatt för förslitningsskador är den mänskliga axeln. Axelns huvudsakliga funktion är att ge stöd åt och fästa armen. Den kan röras i fyra begränsade basrörelser; upphöjning, nedsänkning, framförd och bakåtförd (Cacha, 1999). Vid lyft från höga höjder tvingas användaren höja axlarna vilket kan leda till utmattning av axelmuskulaturen (Das & Sengupta, 1996). Samtidigt kan lyft från låga höjder leda till ryggont om ryggen böjs ovanligt mycket. Även rotation av bålen ska undvikas i den mån det går, när tung utrustning hanteras (Das & Sengupta, 1996). Det är även bra om handleden kan vara still när arbete utförs med verktyg. Om handleden inte är rak kan arbetsställningen skapa tryck och inflammationer (Cacha, 1999).

Inom industrin förekommer plåtbyråer som lagrar plåtar på höjden, därmed finns risk att lyft måste utföras från höga eller låga höjder med hjälp av lyftverktyget. Dessa lyft medför en risk för arbetsskador i och med att existerande lyftverktyg inte är utformade för att bibehålla en ergonomisk arbetsställning när dessa lyft genomförs. Användaren måste positioneras på ett sätt som är nödvändigt för lyftet men inte alltid optimalt för kroppen. Bland annat förekommer det att armarna höjs över huvudet i en obekväm ställning som tröttar ut musklerna vilket i det långa loppet kan medföra sjukskrivning.

Styrningen av lyftverktygets olika funktioner; tiltning, förflyttning och så vidare kommer att ske med hjälp av en manöverpanel eller liknande don. Här är det viktigt att ta hänsyn till vissa faktorer när det gäller ergonomi. Handverktyg, fjärrkontroller med mera bör vara inom den normala nåbarhetsgränsen. Handtagsdiameter kan variera för olika ändamål men ett mått som är att föredra är 33 mm (PubMed, 2003). Displayer och dylikt ska placeras på så vis att huvud och ögon rör på sig så lite som möjligt (Das & Sengupta, 1996). Holmström, Eklundh och Ohlsson (1999) menar att manöverdon måste vara åtkomliga, identifierbara och användbara och knapparnas funktion bestämmer placeringen, identifieringen och utformningen.

2.2.1.1 Antropometri

Antropometri är läran om människans kroppsmått (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999) och är ett område som analyserades för att ge lyftverktyget de optimala måtten. Det som är självklart för många är att det är skillnad i kroppsuppbyggnad på män och kvinnor, dock finns det mer information än så.

Antropometri härstammar från de grekiska orden för man (anthropos) och mätning (metron). Dessa kopplas samman till betydelsen; mätning av den mänskliga kroppen (Bridger, 2009). Antropometrisk data används bland annat för att utforma arbetsplatser och utrustning med hjälp av målgruppens kroppsmått i syfte att bilda en optimal arbetsmiljö (Bridger, 2009). Bridger (2009) menar vidare att matcha produkt med användarmått är viktigt för säkerheten, hälsan och användbarheten.

Alla människor är olika men det finns vissa kriterier som ska uppfyllas för alla. Enligt Holmström, Eklundh och Ohlsson (1999) ska man arbeta med ryggen i upprätt ställning med axlarna sänkta och överarmarna intill överkroppen. Holmström, Eklundh och Ohlsson (1999) menar vidare att arbetshöjden bör normalt dimensioneras efter personens armbågshöjd.

Vid utformning av arbetsplatser, där en god arbetsställning ska tillgodoses, är antropometrisk data en nyckeltillgång (Delleman, Haslegrave & Chaffin, 2004). Där ska målgruppen tas hänsyn till, vilka olika ställningar som kommer att göras, säkerhet och bekvämlighet. Justerbarhet är en vanlig lösning. Risken finns att

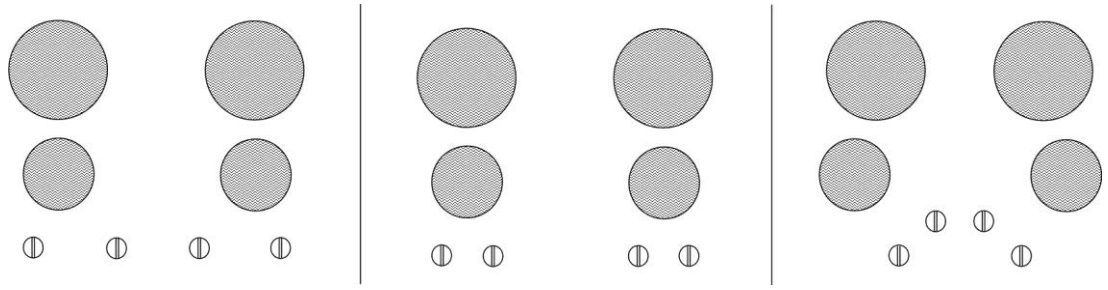
percentilerna som har valts för detta projekt inte är helt korrekta. En svensk man kanske har en torso som ingår i den 95:e percentilen men benen tillhör en annan percentil. Det finns alltså inte en person som har alla mått inom en enda percentil. Alla är olika utformade. Detta gör det svårt att designa en optimal produkt men genom att använda extremer som gränspersoner kan designern få en uppfattning om hur stora skillnaderna ser ut mellan användare.

Enligt McCauiey Bush (2012) måste en ergonom tänka på att produktdesignen ska tilltala en bred grupp som skulle kunna använda produkten. En produktutvecklare kan komma i kontakt med ergonomi i sitt arbete på flera sätt och att tilltala en bred grupp är viktigt för även denna yrkesgrupp. När en produktutvecklare ska designa en produkt kan en antropometriguide användas när han eller hon ska; designa för ett justerbart intervall, designa för extremer (95:e percentilen män och 5:e percentilen kvinnor) och designa för genomsnittsanvändare. I detta fall kommer antropometriska mått inom en specifik målgrupp användas vid detaljutvecklingen av koncept; svenska män (95:e percentilen) och kvinnor (5:e percentilen) mellan 18-65 år. Detta är ett stort spann vilket speglar dagens industriarbetare.

2.2.2 Kognitiv ergonomi

Kognitiv ergonomi, även kallad informationsergonomi, behandlar samspelet mellan människa-maskin. Vid användande av en maskin, i detta fall ett lyftverktyg, är det viktigt att användaren kontinuerligt får information från maskinen (Holmström, Eklundh och Ohlsson, 1999). Hjärnan tar emot kunskap som lagras, bearbetas och används. Dessa processer ingår i det som kallas för kognition. Holmström, Eklundh och Ohlsson (1999) menar att eftersom det förekommer att dagens arbetsuppgifter är fyllda av planerande, besluttagande och tänkande ställer det krav på den kognitiva ergonomin. Med hjälp av exempelvis mappning och feedback kan arbetet underlättas och effektiviseras.

Mappning är ett begrepp som bygger på kognitionsvetenskapliga teorier och används ofta vid gränssnittsdesign. Mappning är relationen mellan två olika saker och hur dessa förhåller sig till varandra (Norman, 2002). Detta är något som blir av vikt för designen av manöverdonet. I figur 9 kan ett exempel ses där mappningen är bristande och vilka förbättringar som kan göras vad gäller positionering av spisplattor och dess vred. Längst till vänster i figur 9 är det inte det lättaste att förstå vilket vred som styr vilken spisplatta vilket påvisar bristande mappning (Lidwell, Holden & Butler, 2003). I den mittersta bilden kan ses hur gruppering av vreden underlättar och ger en förbättrad förståelse men mappningen är ändå inte optimal. Lidwell, Holden och Butler (2003) menar att i den högra bilden är vreden positionerade som plattorna är placerade vilket ger en naturlig förståelse för vilket vred som styr vilken spisplatta.



Figur 9. Exempel på bristande mappning och åtgärder som kan göras för att åstadkomma god mappning för spisplattor och dess vred (efter Lidwell, Holden & Butler, 2003).

Vad gäller mappning för manöverdon menar Holmström, Eklundh och Ohlsson (1999) att placering av don (knappar, lampor med mera) är viktig och att de bör placeras efter en bestämd ordning efter hur de används från vänster till höger. De mest använda donen bör placeras närmast användaren och don som har viktig funktion, exempelvis varningslampor ska vara inom synhåll för användaren. Don med gemensam funktion bör placeras tillsammans i grupper.

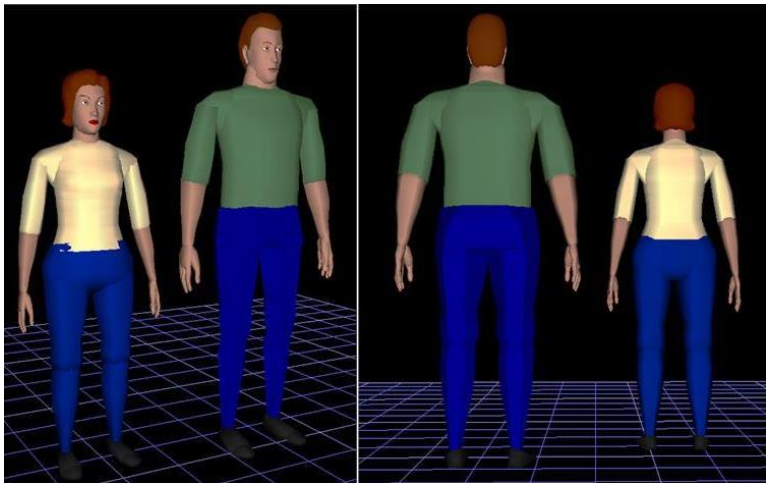
Ett annat begrepp som bygger på kognitionsvetenskapliga teorier är feedback. Feedback innebär att användaren genom sina sinnen får information från systemet, om vad som sker vid en viss handling, till exempel då en viss

knapp trycks in. Det är viktigt att feedback ges direkt så att användaren kopplar handlingen till resultatet (Norman, 2002). För funktionens skull är det viktigt att knappar och dylikt ger direkt feedback. Skillnaden mellan existerande och icke-existerande feedback kan beskrivas med hjälp av två system inom relationen mellan människa och maskin; Closed Loop och Open Loop. En Closed Loop är en sluten och ett ständigt pågående förhållande där människan har kontroll över utvecklingen och statusen av ett praktiskt objekt (Cacha, 1999). Objektet behåller antingen sin status eller ändras under kontroll av människan. Cacha (1999) menar vidare att människan får feedback från objektet för att se om de praktiska målen uppnås, exempelvis vid höjning av volym på en teveapparat där en direkt indikation ges om ljudet höjs eller inte. Exempelvis finns detta system bland annat i bilar, flygplan och handverktyg. Det andra systemet, Open Loop, innebär att människan inte ständigt har kontroll över objektets utveckling (Cacha, 1999). Ett exempel på ett sådant system är en kanon; när kanonen är laddad och tänd, kan människan bara titta på medan skottet avfyras. Sammanfattningsvis är ett Closed Loop-system att föredra, speciellt när objektet innebär risktagande och där säkerheten är viktig. Då är det viktigt att människan har kontroll över utvecklingen för att förhindra olyckor innan de har skett.

Feedback är värdefullt att ta hänsyn till för en ny produkt där samspelet mellan människa-maskin är aktuellt. Om användaren får feedback på det de gör finns vetskapen av att någonting har skett, vare sig det är bra eller dåligt. Exempelvis använder flera lyftverktyg feedback för att påvisa om ett lyft kan ske, vanligt förekommande är en lampa som skiftar mellan rött och grönt där grönt påvisar att vakuum har bildats tillräckligt för lyft. Om lampan är röd kan lyft inte ske. I detta projekt ska feedback försöka användas så mycket som möjligt för att skapa en bra och tydlig relation mellan människa och maskin.

2.2.3 Utvärdering av ergonomi

Att utvärdera en produkt innan den kommer ut på marknaden kan vara av stort värde. Ett sätt är att utvärdera prototyper genom att använda datormodeller, manikiner, för att spara pengar och samtidigt kunna utvärdera på ett relativt realistiskt sätt (Delleman, Haslegrave & Chaffin, 2004). Självklart är den bästa utvärderingsmiljön verkligheten men för att sålla ut och se tydliga fel är datorprogram en god start. Datorprogrammet Jack 7.1 (2011) använder sig av manikiner som är ett länkat system vilket liknar människans verkliga skelett (Delleman, Haslegrave & Chaffin, 2004). Dess leder är lika rörliga som i verkligheten vilket förhindrar onaturliga rörelser för manikinen. Jack-manikinen har en ryggrad med 17 segment, fullt utvecklade händer och avancerade axlar. Delleman, Haslegrave och Chaffin (2004) menar att denna manikinuppbyggnad är gjord för att göra det mer användarvänligt för designern. Två manikiner gjordes för att tydliggöra skillnaden mellan 95:e percentilen man och 5:e percentilen kvinna (se figur 10) som utgör ramen för projektets målgrupp.



Figur 10. Manikiner i Jack 7.1 (2011) som representerar 5:e percentilen kvinna och 95:e percentilen man.

Dock ska i detta fall först och främst verkligheten agera testmiljö istället för datoriserad eftersom möjligheterna finns för att utvärdera konceptet bland möjliga användare. Modeller kommer att skapas och utvärderas med hjälp av en grupp personer som bidrar med sina åsikter. Tillsammans med de kunskaper som har getts vid förstudien och genom applicering av antropometriska mått fås förhoppningsvis en bred grund till ett optimalt lyftverktyg.

2.3 Konkurrentanalys

Vid utveckling av en produkt som redan finns på marknaden men som behöver förbättring är det viktigt att analysera sina konkurrenter. Detta kan ibland ta lång tid men är samtidigt väldigt kritiskt för om den framtida produkten går att sälja eller inte (Ulrich & Eppinger, 2008). Det finns idag ett tiotal aktörer på marknaden som har ett stort utbud av olika sorters lyftverktyg. För att göra en avgränsning analyserades sex olika lyftverktyg från sex olika leverantörer. Dessa ansågs vara de mest innovativa lösningarna och de var anpassade till ungefär samma ändamål; det vill säga lyfta plåtar från en storlek på 2x1 m upp till en storlek på 3,0x1,5 m. De lyftverktyg som analyserades var från leverantörerna TAWI, Abeja, HT Lyftsystem, Lifts All, Spektrakon och Anver.

Anver är en stor internationell aktör med ett stort utbud av vakuumlyftverktyg och diverse lyftutrustning. De övriga är svenska leverantörer med ett smalare utbud som är mer inriktat på lyftutrustning. Lifts All har även möjligheten att skräddarsy utrustning utefter kundens behov och kan därför ses som en stor konkurrent. Vid jämförelse av konkurrenternas produkter visade det sig att många konkurrenter har samma funktioner som önskas av uppdragsgivaren men ingen av dem hade någon bra lösning på problemet att kunna utföra höga och låga lyft med bibehållen ergonomisk arbetsställning.

TAWIGrip, se figur 11, använder maximalt åtta stycken sugkoppar och har justerbara armar och justerbart handtag. Handtaget är ganska långt vilket underlättar vid höga och låga lyft, men vid lyft på omkring två meter blir det problem att manövrera lyftverktyget med bibehållen ergonomisk arbetsställning.

Figur 11. TAWIGrip (TAWI, 2013).

Abejas lyftverktyg är rejält och klarar större skivor. Även detta lyftverktyg använder sig av åtta sugkoppar. Nackdelen med detta lyftverktyg är att det har ett väldigt kort handtag och blir synnerligen osmidigt vid lyft på höga höjder. Den enda riktiga fördelen är att det klarar av att lyfta tunga plåtar.

HT Lyftsystems VacuHand, är ett relativt enkelt lyftverktyg. Det använder sig av sex sugkoppar vilket kan ses i figur 12. Nackdelen med detta lyftverktyg är att det bara klarar 140 kg och att tiltfunktionen sköts manuellt, vilket kan bli påfrestande för användaren vid lyft av tyngre plåtar. Det som är intressant är att det manövreras på ett annorlunda sätt; med flera greppunkter som kan användas till att styra lyftverktyget. I bilaga 1 visas de kompletta konkurrentanalyserna.

Figur 12. VacuHand (HT Lyftsystem, 2013).

När det gäller manöverdon finns det flera olika alternativ som existerar på marknaden. I figur 13 visas några av de manöverdon som var intressanta för projektet.

Figur 13. Sett från vänster till höger; manöverdon från TAWI, Dematek och Abus kransystem (TAWI, 2011) (Dematek, 2014) (Abus kransystem, 2014).

TAWIs manöverdon är intressanta på det sättet att de använder sig av små spakar som nästan kan liknas vid tv-spelkontroller. Detta bidrar till en nyskapande känsla. Demateks och Abus kransystems manöverdon är mer åt standardhållet med stora tydliga knappar och med gul bakgrundsfärg. Dematek använder sig av joystick till vissa manöverdon vilket också är intressant.

Med hjälp av konkurrentanalysen skapades en bättre bild av vad marknaden har att erbjuda i dagsläget. Utefter detta gavs inspiration och information inför vidare arbete med kommande manöverdon för lyftverktyget.

2.4 Marknad

Att ta reda på produktens målgrupp och marknad är nödvändigt eftersom det stakar ut projektets process och resultat (Cross, 2008). Eftersom uppdraget är ett redan påbörjat projekt, med genomförd marknadsundersökning samt med en tydlig efterfrågan, finns det intressenter i form av företag som bedriver hantering av skivformade produkter och företagets personal. Dessa skulle kunna tjäna på ett förbättrat lyftverktyg, i form av minskade arbetsskador och sjukskrivningar. Något som är viktigt att påpeka är att det inte bara är den drabbade ur personalstyrkan som blir påverkad av förslitningsskador. Det är även dess anhöriga, vänner, arbetsgivare och så vidare som drabbas både psykiskt och på andra plan, exempelvis ekonomiskt och socialt. Detta gör att en liten arbetsskada ur ett stort perspektiv kan bli oerhört påfrestande för flera parter, därför krävs bland annat ergonomiska åtgärder i tid (Holmström, Eklundh & Ohlsson, 1999).

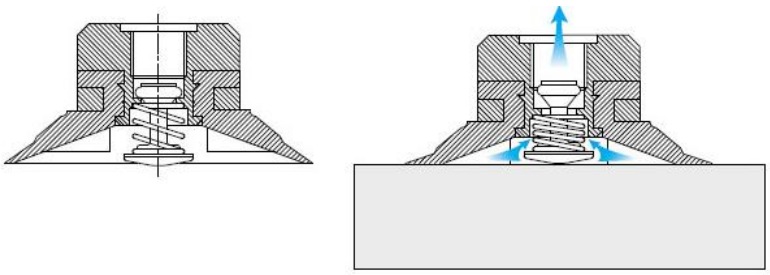
2.5 AB Furhoffs Rostfria

Enligt Gyi, Porter och Case (2000) utvärderar designteam sällan tidiga prototyper eller existerande design med de användare och den miljö som produkten kommer att användas i. Där förloras mycket information som kan spela stor roll för projektet och produkten. Det är också vanligt att för få användare involveras i projektet eller att

användare kommer in alldeles för sent i projektet (Gyi, Porter & Case, 2000). Om användare involveras tidigare i projektet kan stora problem upptäckas i god tid och en bättre bild av hur användaren arbetar fås.

AB Furhoffs Rostfria i Skövde använder sig av plåtbyråer för att lagra deras mest använda plåtstorlekar och har därmed även ett lyftverktyg för att kunna förflytta plåt till lasermaskin. Produktionschefen, arbetsledaren över laser- och kantpressavdelningen och en operatör på AB Furhoffs Rostfria bidrog med information under projektet för att skapa en bättre bild över själva arbetsmomentet där ett lyftverktyg är involverat. De konstaterade att själva plåtbyråerna var mycket användbara, dock innebär dessa frekvent användning av ett lyftverktyg. För att nå de översta plåtarna, som ligger på en höjd av två meter, i plåtbyrån med lyftverktyget måste operatörerna klättra upp på en stege. Detta för att ha en möjlighet att se var de placerar lyftverktyget, om de har tillräckligt med sugkraft och för att överhuvudtaget kunna nå handtaget. Detta påvisar ett behov av ett nytt sorts lyftverktyg som möjliggör lyft på höga höjder med bibehållen ergonomisk arbetsställning för användaren.

Angående säkerheten för denna arbetsstation som plåtbyråerna och lyftverktyget ingår i, sker regelbunden okulär besiktning av främst sugkopparna men även resten av lyftverktyget. Detta görs för att minimera risken för arbetsolyckor; sugkopparna byts genast ut om det finns några sprickor, förslitningar eller skärskador på gummit. Minsta lilla hål kan leda till sämre lyftförmåga och plåten riskerar då att falla ner på golvet; 1 m^2 rostfritt stål med 1 mm i tjocklek väger 8 kg vilket kan innebära stor arbetsskada om en plåt faller på användaren eller omgivningen. De delar på lyftverktyget som kan få så pass regelbundna skador att delarna måste bytas är just sugkopparna och dess metallknappar (knappventiler/BV-ventiler) som sitter vid luftinsuget under kopparna. Dessa knappventiler är uppbyggda av kägelventiler i mitten med knapp monterad (Abeja, 2013). Ventilen är stängd tills sugkoppen är i kontakt med ett underlag, exempelvis en plåt, och öppnar då för vakuum (se figur 14). De verkar alltså som indikatorer på vilka sugkoppar som är i användning och därmed regleras vakuumet och vakuumnivån i systemet bibehålls. Eftersom knappventilerna sticker ut en del är det stor risk att dessa stöter mot något när plåten transporteras vilket gör att de slits ut och måste bytas efter en tids användning.



Figur 14. En genomskuren sugkopp med en knappventil (Abeja, 2013).

En ytterligare säkerhetsaspekt gäller lossning av plåten. På AB Furhoffs Rostfrias lyftverktyg fanns en lyfttratt som gjorde att sugkopparna måste vara ända nere på plåtytan för att kunna lyfta säkert samtidigt som detta gör att användaren inte kan släppa lasten utan eftertanke. Lyftverktyg sträcker ut kättingen naturligt när den svävar i luften och när lasten eller lyftverktyget är i kontakt med ett underlag slaknar kättingen - lasten kan släppas. Det fanns även en indikatorlampa som signalerade när det hade byggts upp godkänt vakuum mot materialet och var redo för att lyftas.

AB Furhoffs Rostfria hade egna idéer på vad som kunde förbättras med lyftverktyget vilket var följande:

- Kunna justera längden på lyftverktyget för mindre och tjockare plåtar
- Kunna lyfta en plåt i taget utan att riskera att få med flera på en gång och orsaka olyckor
- Om lyft sker på hög höjd skulle ett justerbart handtag underlätta användningen
- Slangar och kablar ska vara dolda eller på annat sätt inte i vägen för trånga passager

Sammanfattningsvis hade AB Furhoffs Rostfria ett behov av ett lyftverktyg som hjälper dem att bibehålla en ergonomisk arbetsmiljö för sin personal och som möjliggör ett säkrare lyft vid höga höjder. De har stor kunskap

om detta område och är intresserade av utvecklingen och fortsatt kontakt ska ske under arbetets gång för att komma möjliga intressenter så nära som möjligt.

2.6 Kravspecifikation

Kravspecifikationen är ett viktigt dokument för att kunna avgränsa utvecklingen av produkten. Genom att ha en kravspecifikation att jämföra de olika lösningarna med kan de lösningar som inte lever upp till kraven uteslutas direkt (Cross, 2008). Kravspecifikationen ska definiera kraven för prestandan på produkten och därför är det viktigt med krav som är mätbara (Cross, 2008). På kravspecifikationen anges krav och önskemål. Kraven (K) är de som måste uppfyllas för produkten ska kunna fungera medan önskemål (Ö) är önskemål från kunden eller utvecklaren som inte nödvändigtvis påverkar prestandan. Det kan till exempel handla om att ett material med vissa egenskaper måste användas för att uppfylla ett krav men att sedan färgen på materialet är ett önskemål (Cross, 2008). Kravspecifikationen för den framtida produkten kan ses i figur 15 och är en sammanställning av krav och önskemål från uppdragsgivaren samt från förstudien.

Kravspecifikation				
	Krav	Utvärdering av uppfyllelse	Mätvärde	K/Ö
1.	Lyft ska kunna ske från en maximal höjd på 200 cm till en minsta höjd på 10 cm, med bibehållen ergonomisk arbetsställning.	När lyftverktygets material är på sin högsta (200 cm) eller lägsta (10 cm) höjd ska manövreringsdonet befinna sig i armbågsledshöjd.	100 - 120 cm	K
2.	Lyftverktyget ska kunna tiltas från horisontellt till vertikalt läge med last på 400 kg.	Säkerhetsställa att valda komponenter klarar av lastens vikt och påfrestning.	Ja/Nej	K
3.	Lyftverktyget ska vara utformat för att kunna användas av spannet från 5:e percentil svensk kvinna till 95:e percentilen svensk man, 18 - 65 år.	Använda antropometriguide för rätt ändamål. Användartester för att undersöka målgruppens behov.	Ja/Nej	K
4.	Lyftverktyget ska kunna användas till olika typer av skivformade material, exempelvis plåt, trä och glas, som är tillräckligt täta för att kunna lyftas m.h.a. vakuum.	Utvärdering av sugkoppar för olika ändamål.	Ja/Nej	K
5.	Lyftverktyget ska klara av att lyfta material upp till 800 kg.	Välja material och genomföra analytisk hållfasthetsberäkning och Finita Elementanalys. Spänningar ska inte överstiga materialets sträckgräns med hänsyn till lämplig säkerhetsfaktor.	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma} \geq 2$	K
6.	Lyftverktyget ska ha en funktion som indikerar för användaren när lasten är redo att lyftas med vakuum.	Erbjuda existerande teknik och säkerhetsställ att tekniken kan användas på lyftverktyget.	Ja/Nej	K
7.	Lyftverktygets last ska inte kunna släppas utan avsikt.	Applicera en säkerhetsfunktion som förhindrar att lasten släpps utan avsikt.	Ja/Nej	K
8.	Lyftverktyget ska kunna lyfta standardstorlekar av plåtar, från 2,0 x 1,0 m upp till 3,0 x 1,5 m.	Säkerhetsställ att lyftverktygets sugkoppar alltid kan rymmas på plåten oavsett plåtens storlek.	Ja/Nej	K
9.	Lyftverktygets stomme ska vara tillverkad i KKR (S355J2H) 40x40 mm och 30x30 mm stålprofiler.	Kontrollera konstruktionens hållfasthet med avseende på det önskade materialet. Materialet används om spänningarna understiger materialets sträckgräns, med säkerhetsfaktor 2.	<177,5 MPa	Ö
10.	Slangar och dylikt för pneumatik skall vara skyddade eller dolda.	Om möjligt, konstruera lyftverktyget på så sätt att slangar etc. kan döljas eller bortskaffas.	Ja/Nej	Ö
11.	M8 och M12 ska användas som standard till samtliga gängor.	Samtliga gängade hål bör vara antingen M8- eller M12-gängor. Kontrollera om det passar in i konstruktionen, annars byt gänga.	Ja/Nej	Ö
12.	Lyftverktyget ska ha fyra sugkoppar som standard och fyra extra som går att fästas vid behov.	Erbjuda ett lyftverktyg som går att anpassa för två olika ändamål, med fyra eller åtta sugkoppar.	Ja/Nej	Ö
13.	Alla reglage på manövreringsdonet ska vara enkla att förstå och använda.	Användarstudier för konstruktion av optimal greppbredd samt reglage-förståelse. De flesta av de utfrågade ska förstå styrningen av lyftverktygets funktioner.	≥ 90 %	Ö
14.	Lyftverktygets tvärarmar ska vara justerbara.	Konstruera lyftverktyget så att justering är möjligt dock utan påverkan av kontruktionens prestanda.	Ja/Nej	Ö
15.	Endast en skiva ska lyftas i taget.	Erbjuda en lösning och kontrollera dess funktion med hjälp av prototyp.	Ja/Nej	Ö

Figur 15. Kravspecifikation.

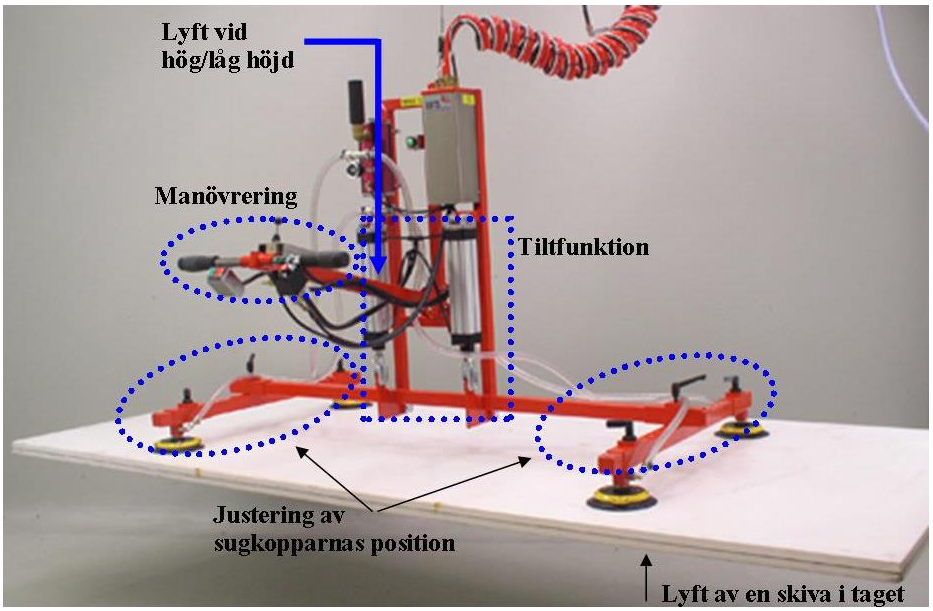
Kravspecifikationen användes under den resterande produktutvecklingsprocessen för att se om det slutgiltiga konceptet uppfyllde kraven och önskemålen och för att avgränsa projektets omfattning.

3 Konceptgenerering

Konceptgenereringsfasen kan kallas för en divergent fas eftersom ett stort sökområde ska användas för att få en mängd olika idéer (Cross, 2008). I detta fall genomfördes konceptgenereringen i två omgångar; den ena med hjälp av två designingenjörer och den andra med hjälp av två maskiningenjörer. Anledningen till detta var att få variation av kompetens. Maskiningenjörerna har kunskap inom maskinelement, erfarenhet från tillverkningsindustri samt arbetar som konstruktörer. Designingenjörerna har kunskap inom produktutveckling och hur en produkt eller ett system kan utformas för att främja kundens behov. För att ge deltagarna en jämn grund att utgå ifrån delades ett lyftverktygs funktioner upp med hjälp av en så kallad funktionsanalys. En funktionsanalys är som namnet påvisar; en analys av funktionerna som exempelvis en produkt innehar. Denna analys kan lyfta upp problem, som annars skulle varit dolda i sina delfunktioner, och kan påverka vilken nivå problemet läggs på (Cross, 2008). Huvudfunktionerna är de funktioner som är nödvändiga för att produkten ska kunna fungera på korrekt sätt. Lyftverktygets huvudfunktion (förflytta en plåt) delades in i mindre delfunktioner för att sedan hitta en lösning på varje enskild funktion. Dessa delfunktioner var följande;

- Tiltfunktion
- Lyft av en skiva i taget
- Justering av sugkopparnas position
- Lyft vid hög/låg höjd
- Manövrering

Dessa funktioner användes som rubriker i detta kapitel och även i nästa (konceptval), för att tydliggöra varje dels utveckling, se figur 16 för överblick av lyftverktygets funktioner.



Figur 16. Lyftverktygets olika funktioner från funktionsanalysen (efter Lifts All, 2013).

Kreativitetsmetoder som användes för konceptgenereringen var 6-3-5 metoden och morfologisk tabell. 6-3-5 metoden är en variant av brainstorming. Dock ändrades namnet eftersom det syftar till antalet deltagare. Sexan står för antal deltagare, trean för antal idéer som skissas upp, femman står för antal minuter som varje deltagare har på sig att skissa tre skisser innan skisserna skickas vidare runt till nästa deltagare innan nästa session påbörjas (Wright, 1998). Metoden döptes alltså om till 4-3-5 metoden. Denna metod är effektiv och ger ett stort antal idéer på kort tid. Detta var en fördel eftersom målet var att få hög kvantitet på lösningar.

En morfologisk tabell användes då inte tillräckligt realistiska och måluppfyllande idéer hade tagits fram med hjälp av 4-3-5 metoden. Denna tabell ger produktutvecklare en möjlighet att hitta udda kombinationer och en

mängd idéer som kan verka som inspiration och en chans till att se nya möjligheter (Cross, 2008). Positiva och intressanta delar av idéerna från 4-3-5 metoden plockades ut och kombinerades ihop till nya idéer. Enligt Cross (2008) listas nödvändiga funktioner/delar upp för produkten i en tabell, exempelvis i en kolumn. I rader bredvid listas alternativa lösningar på funktionerna/delarna. Genom att systematiskt kombinera funktion/del med lösning skapas en mängd koncept som sedan skissas upp och diskuteras.

I följande kapitel kan processen över konceptgenereringen, med 4-3-5 metoden och morfologisk tabell, följas där lyftverktygets delfunktioner får nya lösningar.

3.1 Tiltfunktion

En av lyftverktygets huvudfunktioner är att kunna tiltas. Denna funktion är nödvändig exempelvis när material ska flyttas från en plåtbyrå till vertikal positionering på vagn. Konkurrentanalysen visade att det vanligaste sättet att få lyftverktyget att tilta är med hjälp av pneumatiska cylindrar som kan ses i figur 17 vilket det visades sig att även AB Furhoffs Rostfrias lyftverktyg använder sig av.

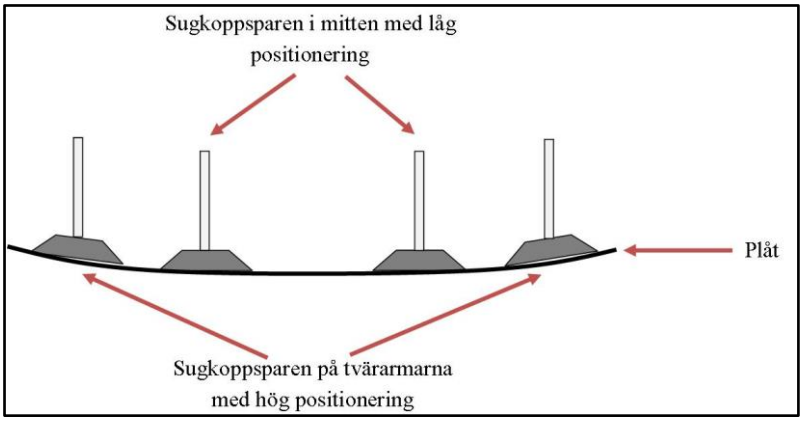
Figur 17. Exempel på två pneumatiska cylindrar (Festo, 2014).

Ett fåtal idéer för drivning av tiltfunktionen kom fram under konceptgenereringen som utfördes tillsammans med maskiningenjörerna. En av lösningarna var en elektrisk motor som driver lyftverktyget till att tilta med hjälp av drev och kedja. Dock beslutades i samråd med uppdragsgivaren att använda pneumatiska cylindrar för detta lyftverktyg eftersom det är en beprövad metod och därmed uteslöts vidare utveckling av lösningen med elmotor. En annan fördel med pneumatiska cylindrar är att luft redan kommer att vara kopplat till lyftverktyget eftersom sugkopparna använder det till vakuumbildning. Detta underlättar montering av de pneumatiska cylindrarna. I och med detta beslut fortsatte inte utvecklingen av alternativa lösningar. Denna lösning är relativt enkel att applicera genom att konstruera två fästpunkter för cylindern samt en axel som lyftverktyget kan tiltas runt.

Vid positionering av en eller flera pneumatiska cylindrar underlättar det om cylindrarna är fästa symmetriskt på lyftverktyget. I detta fall beslutades i samråd med uppdragsgivaren att endast en större cylinder skulle användas för att se om det var tillräckligt i ett senare skede, med hjälp av en prototyp. Om det inte skulle bli tillräckligt stabilt skulle två mindre pneumatiska cylindrar kunna placeras på varsin sida om mittbalken för att uppnå en stabil tiltning. Ytterligare fördjupning, om storlek på cylindern och vilken typ, avsattes till rekommenderat vidare arbete.

3.2 Lyft av en skiva i taget

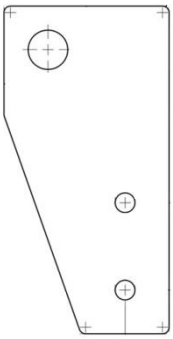
Vid lyft av skivformade material kan vakuum mellan skivorna leda till att fler skivor än en lyfts åt gången. Detta gäller framförallt då ytan på materialet är slät, exempelvis på plåtar. Under konceptgenereringen utvecklades idéer på hur lyftverktyget skulle kunna lösa detta problem. Detta är ett önskemål från uppdragsgivaren och även AB Furhoffs Rostfria. Idéer som uppkom var bland annat att sugkopparna kan placeras i olika nivåer; de i mitten lägre ner än de på kortsidorna. Detta skulle antagligen böja plåten som en båge och därmed kunna få in luft och skilja plåtarna åt, se figur 18.



Figur 18. Frontvy av lyftverktygets långsida med möjlig lösning för att lyfta en plåt i taget.

Även användning av trycklyft diskuterades för att möjligtvis blåsa in luft med ett högt tryck och därmed lyckas få tillräckligt med luft mellan plåtarna för att kunna separera dem. Tryckluft är vanligt förekommande inom industrin och används bland annat till att avlägsna spån som uppstår vid skärande bearbetning. En möjlighet var att tryckluften även skulle kunna användas för att separera plåtar. Dessa lösningsförslag på hur användaren skulle kunna lyfta endast en plåt i taget diskuterades med AB Furhoffs Rostfria. I samråd med företaget och även uppdragsgivaren togs beslutet om att inte gå vidare med utvecklingen på grund av att idéerna var för omfattande för den aktuella tidsperioden.

Funktionen kunde ändå lösas på ett sätt som inte krävde vidare utveckling. Uppdragsgivaren hade nämligen en egen idé med avseende på fästningen av lyftverktyget till telfern. Genom att placera det större hålet, som lyftverktyget hängs fast i, lite ifrån centrum lutar lyftverktyget naturligt och förhoppningsvis är denna lutning tillräcklig för att lyfta ena plåtänden lite tidigare än resten av skivan (se figur 19). Då skulle luft komma in i mellan plåtbunten och sugkraften som bildats mellan varje skikt skulle försvinna och plåten lyfta.



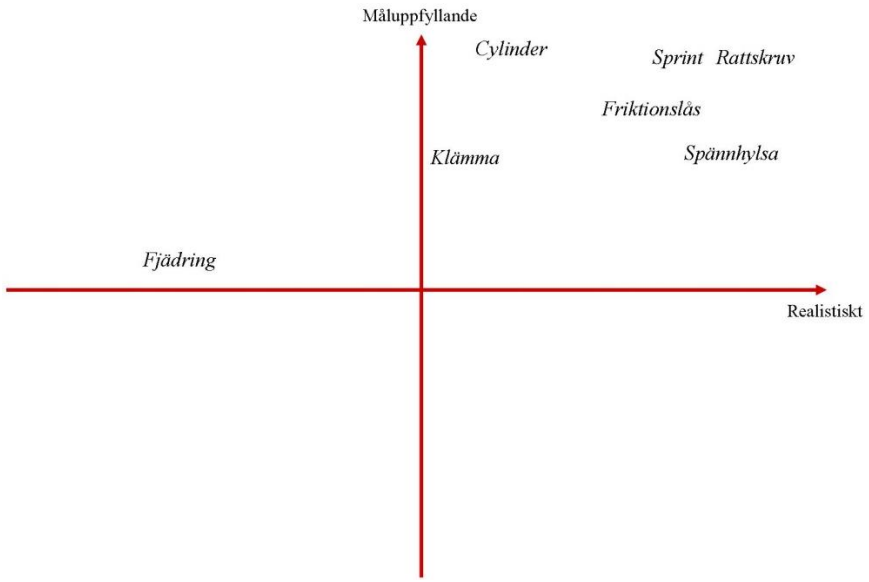
Figur 19. Fäste som kan sitta på lyftverktyget där det större hålet används för en axel som i sin tur används för telferns krok, de mindre hålen är för fästning på lyftverktyget.

Detta är som sagt en idé som är komplicerad att utvärdera på ett teoretiskt stadium. Det ultimata är att testa i verkligheten med en prototyp. Eftersom denna idé var så pass simpel i sin design och enkel att tillverka talade mycket för detta koncept. Om lösningen inte skulle uppfylla sin funktion är påverkan på det övriga lyftverktyget minimal. På grund av detta togs beslutet att använda denna idé för eventuell prototyp.

3.3 Justering av sugkopparnas position

Då lyftverktygets huvudsakliga syfte är att kunna lyfta material av varierande storlek är det önskvärt att sugkopparnas position går att justera. Detta för att minska materialets utstick vid lyft av material av den största dimensionen, 3,0x1,5 m. Uppdragsgivarens grundidé var att lyftverktygets tvärarmar och mittbalk skulle konstrueras i fyrkantsprofiler. Dessa kommer då att löpa i varandra för att justera sugkopparnas position och syftet var att ta fram en lösning på hur tvärarmarna skulle kunna låsas fast i rätt position. Vid konceptgenereringen för justering av sugkopparnas position genererades en mängd olika idéer som senare fick

slås ihop och sorteras bort eftersom flera var identiska. De idéer som var kvar döptes till sin huvudegenskap och sattes in i ett diagram där dess måluppfyllande gentemot dess realism analyserades. Diagrammet är en version av ”The Urgent/Important Matrix” från MindTools (2014) och används i detta fall för att få fram de idéer som uppfyller kraven och önskemålen från kravspecifikationen samt är realistiskt att tillverka och använda. De idéer som är i det högra översta hörnet är alltså mest måluppfyllande och realistiskt. Som kan ses i figur 20 är alla idéer utom *Fjädring* i den högra översta rutan.



Figur 20. Diagram där axlarna; måluppfyllande och realistiskt användes för att utvärdera koncept på justering.

Enligt diagrammet var koncept Rattskruv det mest måluppfyllande och det mest realistiska. Dock var de andra koncepten relativt likvärdiga gentemot koncept Rattskruv. I och med detta diskuterades alla koncept i det översta högra hörnet med PNI (Positivt, Negativt och Intressant) i tankarna för att undvika ett förhastat beslut.

- Idé *Klämma* fungerar som namnet antyder, en detalj klämmer åt tvärarmen med mittbalken och dess fördel är att det går snabbt att justera. En stor nackdel är att det kan bli mycket bearbetning på så pass små detaljer vilket kan medföra både mer detaljarbete och högre kostnader. På grund av detta uteslöts konceptet från vidare utveckling.

- Idé *Cylinder* använder sig av en pneumatisk cylinder som skjuter ut/in tvärbalken i mittbalkens profil. Detta är en väldigt enkel konstruktion, dock behöver inte justeringen vara tidskritisk enligt uppdragsgivaren. En sådan cylinder är också relativt dyr. Det positiva är att längden på tvärarmarna alltid blir samma om cylindrarna seriekopplas och blir därför inte obalanserat. Tekniken finns vilket underlättar tillverkning. Denna idé gick därmed vidare till nästa konceptval.

- Idé *Friktionslås* fungerar i princip som en tving där justeringen fungerar snabbt men nackdelen är att användaren kan skruva åt skruven olika hårt vilket i sin tur kan påverka stabiliteten. Att använda friktion kan vara riskabelt på grund av detta men den lilla mängd bearbetning och möjlighet till utveckling gjorde att idén gick vidare till nästa steg.

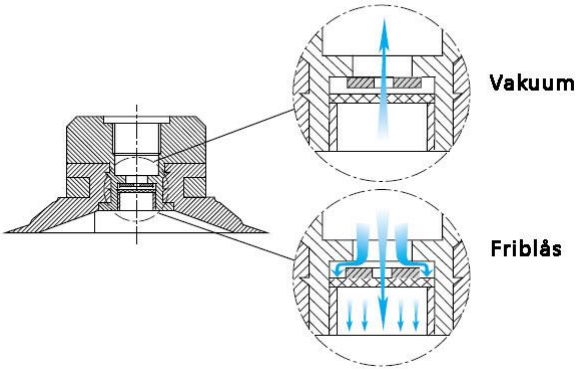
- Idé *Sprint* går snabbt att låsa och i och med att sprinten använder fasta lägen minskar risken för obalans, till skillnad från exempelvis friktionslås eller rattskruv. Eftersom denna idé erbjuder vissa fördelar, samt var relativt enkel att applicera togs den vidare till konceptval.

- Idé *Spännhylsa* sitter ordentligt fast och är enkel att spänna åt men det krävs verktyg för att spänna åt den. Det finns även risk för att lyftverktygets sugkoppar blir positionerade i olika höjd på grund av felaktig infästning. Detta gjorde att idén inte gick vidare till utveckling.

- Det sista konceptet från diagrammet är *Rattskruv* där ett gängat hål är placerat på mittbalken för positionering av en rattskruv. Rattskruven monteras via hålet i mittbalken till ett spår i tvärbalken. Om skruven inte är ordentligt åtskruvad fungerar spåret i tvärarmen som ett säkerhetsstopp. Det förhindrar att tvärarmens profiler, som löper inuti mittbalken, åker ut. Även denna idé gick vidare till konceptval.

Sammanfattningsvis gick följande idéer vidare till konceptval: *Cylinder*, *Friktionslås*, *Sprint* och *Rattskruv*.

AB Furhoffs Rostfrias lyftverktyg använde sig inte av justering utan lyftverktygets sugkoppar hade knappventiler (BV-ventiler). Med sådana ventiler sugs det inte in luft i de vakuumkoppar som inte är i kontakt med plåten. Denna teknik hade dock inte möjlighet att appliceras på det nya lyftverktyget eftersom storleken på sugkopparna eventuellt kommer vara för stor för att tekniken skulle kunna fungera. Efterforskning visade att företaget Abeja säljer sugkoppar som kan utrustas med knappventiler som AB Furhoffs Rostfria använder sig av. Abeja har även EV-ventiler i sitt sortiment som kan ses i figur 21.



Figur 21. EV-ventil (Abeja, 2013).

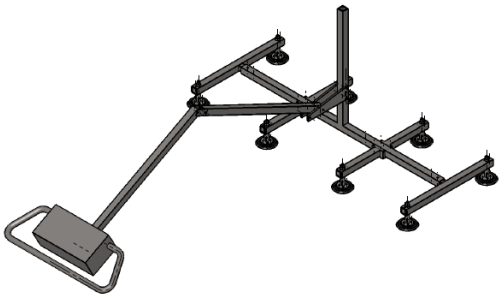
Denna ventil är integrerad i sugkoppen och genom att backblåsa ventilen öppnas ventilen fullt och lasten släpps genast (Abeja, 2013). Denna teknik diskuterades med uppdragsgivaren då det skulle kunna ersätta justeringsmöjligheterna för tvärarmarna eftersom sugkopparna själva känner av hur stor plåten är. Det beslutades, i samråd med uppdragsgivaren, att bortse från EV-ventiler och fortsätta att utveckla idéerna. Detta på grund av att Willebrand var mer intresserad av att justera sugkopparnas vakuum med hjälp av knappar i sådana fall och därmed styra det manuellt. Willebrand menar att risken med ventiler är att lyftverktyget kan råka lyfta en liten plåt som ligger fel i plåtbyrån ovanpå en större och därmed lyfts två plåtar på samma gång vilket i sin tur kan medföra att den undre plåten faller ner och kan skada både människa och miljö.

3.4 Lyft vid hög/låg höjd

Användning av plåtbyråer medför lyft vid låga och höga höjder (10 cm till 200 cm). Problemet med de lyftverktyg som finns på marknaden idag är att de inte är lämpade för detta ändamål. På de lyftverktyg som finns är handtaget till manöverpanelen för kort för att kunna lyfta material från höga och låga höjder utan att det påverkar kroppens arbetsställning. På grund av det korta handtaget tvingas användaren arbeta med armarna i högt läge vilket inte är lämpligt ur ett ergonomiskt perspektiv. Eftersom ingen av de huvudsakliga konkurrenterna har lyftverktyg som löser det här problemet krävdes en helt ny lösning. Idéer för funktionen lyft vid hög/låg höjd togs fram under konceptgenereringen genom att använda 4-3-5 metoden. Efter konceptgenereringen återstod tre olika idéer som var realistiska nog att arbeta vidare på. Dessa lösningar krävde dock vidare utveckling för att kunna avgöra om de var genomförbara. Detta gjordes genom ytterligare skisser, modeller av kapaskivor och CAD-modeller (Computer Aided Design). Uppdragsgivaren hade en grundidé om att

använda sig av rörliga leder för att lösa problemet. Denna idé utvecklades vidare till Koncept Led, som tillsammans med Koncept Arm och Koncept Skena ingick i det slutgiltiga konceptvalet.

Koncept Led, se figur 22, utvecklades från uppdragsgivarens grundidé. Konceptet bygger på att manöverpanelen är fäst på en rörlig arm, vars funktion styrs av rörliga leder.

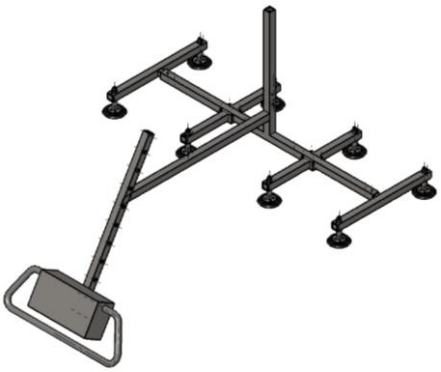


Figur 22. Koncept Led.

Koncept Arm, se figur 23, bygger på att armen som manöverpanelen sitter på kan hissas upp och ner längs lyftverktygets vertikala balk. På detta sätt kan höjden på manöverdonet anpassas av användaren till en bekväm höjd vid höga och låga lyft.

Figur 23. Koncept Arm.

Koncept Skena bygger på samma princip som Koncept Arm. Skillnaden är att istället för att justera hela armen justeras endast den balk som manöverpanelen sitter monterad på (se figur 24). På detta sätt sparas utrymme i höjdled. För att användaren inte ska bli placerad rakt under plåten fixeras balken med en vinkel på cirka 30 grader.

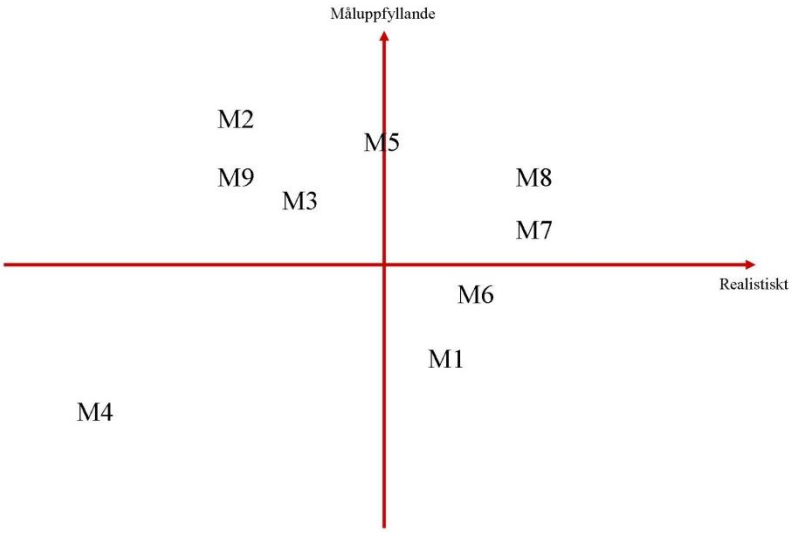


Figur 24. Koncept Skena.

Det viktigaste för att dessa tre lösningar ska kunna fungera är att de rörliga delarna ska kunna låsas fast för att kunna manövrera lyftverktyget. Om inte handtaget är låst i relation till lyftverktygets stomme rör sig stommen okontrollerat. Detta skulle kunna lösas genom att använda någon typ av låsning. De tre koncepten hade dock fullt realistiska lösningar vilket gjorde att alla togs vidare till konceptval.

3.5 Manövrering

Lyftverktyget kräver någon typ av manöverdon för att kunna styras. Vanligt förekommande är att manövreringen är sammankopplad med lyftverktygets handtag. Konceptgenereringen bidrog till nio nya lösningar som skulle kunna utvecklas vidare. För att utvärdera de idéer som tagits fram genom 4-3-5 metoden användes ett diagram som liknar Mindtools (2014) ”The Urgent/Important Matrix”. Detta innebär att alla lösningar delas in i fyra olika fält beroende på hur väl de uppfyller målet och hur realistiska de är att genomföra, se figur 25.



Figur 25. Diagram där axlarna; måluppfyllande och realistiskt användes för att utvärdera koncept på manöverdon.

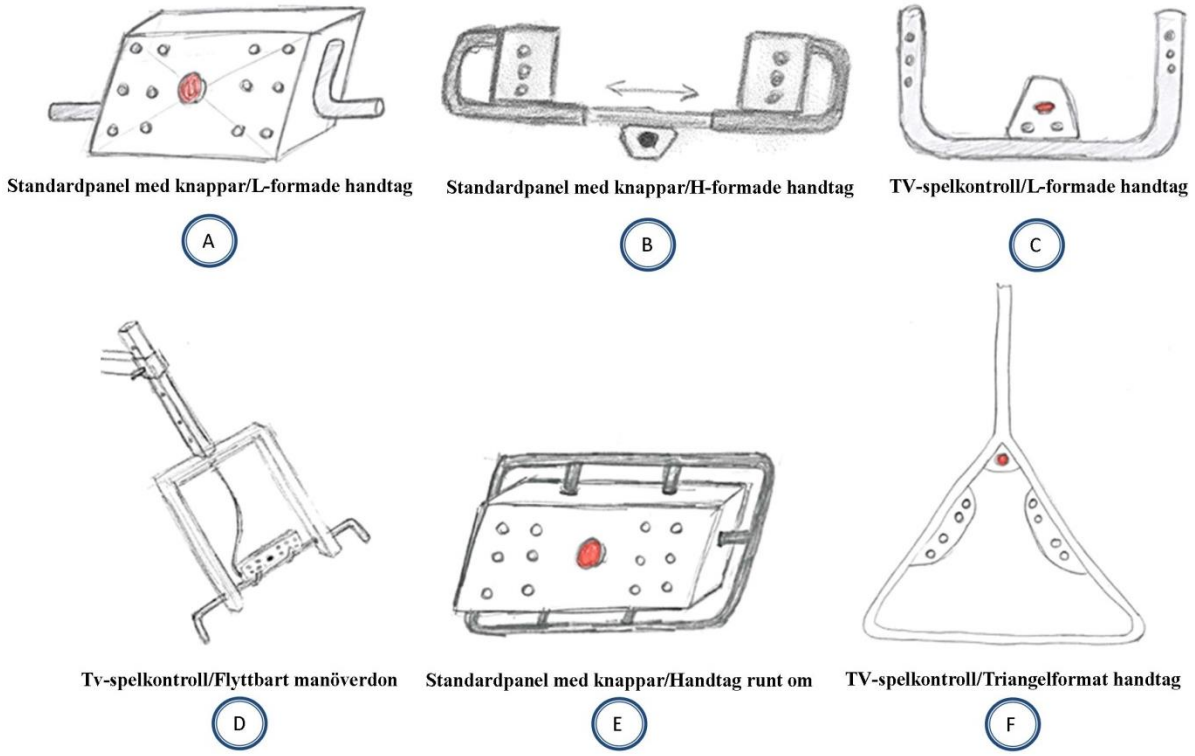
När dessa hade utvärderats befann sig endast två av nio koncept för manöverdonet i det övre högra hörnet. Eftersom antalet var så pass få återvände dessa koncept till början av konceptgenereringsfasen. Syftet var att bryta ned koncepten i mindre delar och att försöka utveckla dessa idéer vidare. Det fanns många intressanta idéer men inget koncept som kändes helt färdigt. För att generera vidare valdes de delar som tydligt skilde koncepten åt för att sedan läggas in i en morfologisk tabell (se tabell 1). I detta fall listades ”manöverdon” och ”handhavande” i en kolumn medan alternativa lösningar på dessa listades på rader bredvid.

Tabell 1. Morfologisk tabell för manöverdon.

Delfunktioner \ Lösningar		1.	2.	3.	4.	5.	6.
1.	**Manöver-don**	Standardpanel med knappar	Joystick	TV-spelkontroll			
2.	**Hand-havande**	Handtag runt om	Triangelformat handtag	L-formade handtag	H-formade handtag	Dubbla greppunkter	Flyttbart manöverdon

Detta resulterade i 18 nya kombinerade koncept som i sin tur sorterades och slogs ihop eftersom flera koncept liknade varandra. Koncept med joysticks sållades bort helt. Anledningen till detta var på grund av att uppdragsgivaren ansåg att det inte fanns ett behov av detta, kombinerat med risk för bland annat fastkrokning av kläder som minskar säkerheten. Det kan även bli problem för de användare som arbetar med handskar. Denna

risk avgjorde beslutet. Koncept med joystick sorterades bort vilket medförde att sex stycken koncept, A-F (se figur 26), återstod till det slutgiltiga konceptvalet.



Figur 26. Koncept på manöverdon från morfologiska tabellen med olika typer av handtag.

3.6 Sammanfattning av konceptgenerering

Konceptgenereringsfasen resulterade i att lyftverktygets funktioner skulle använda följande lösningar:

- Tiltfunktion – *Pneumatiska cylindrar*
- Lyft av en skiva i taget – *Upphängningsanordning med asymmetriskt placerat hål*
- Justering av sugkopparnas position – *Koncept Cylinder, Friktionslås, Sprint* och *Rattskruv*
- Lyft vid hög/låg höjd – *Koncept Led, Arm och Skena*
- Manövrering – *Koncept A, B, C, D, E och F*

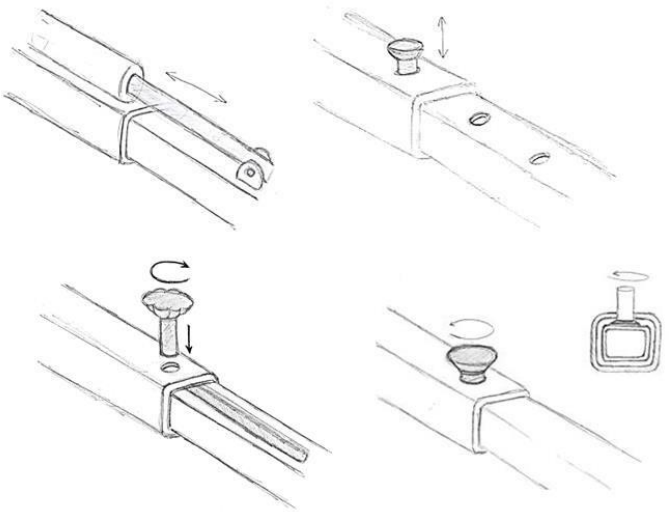
Lösningarna för justering av sugkopparnas position, lyft vid hög/låg höjd och manövrering kommer att detaljutvecklas vidare i kapitel 4 för att sedan sättas ihop till ett slutgiltigt koncept tillsammans med de övriga lösningarna.

4 Konceptval

Konceptval, vilket kan kallas för den konvergenta fasen, innebär att de koncept som finns i detta stadie ska utvärderas och ett eller flera koncept ska väljas ut för tester eller vidare arbete (Ulrich & Eppinger, 2008). Utvärderingen ska ske med hänsyn till uppdragsgivarens behov och andra viktiga kriterier. Ulrich och Eppinger (2008) menar vidare att konceptens styrkor och svagheter ska jämföras, gärna med hjälp av kravspecifikationen. I detta kapitel utvärderades koncepten för funktionerna; justering av sugkopparnas position, lyft vid hög/låg höjd samt manövrering för att sedan sållas bort, en efter en, tills det slutligen endast var ett koncept kvar för varje funktion.

4.1 Justering av sugkopparnas position

Konceptgenereringen resulterade i fyra koncept med avseende på justering av sugkopparnas position; Cylinder, Friktionslås, Sprint och Rattskruv. Dessa koncept skissades upp för att få en tydligare bild av hur de skulle kunna se ut och fungera, se figur 27.



Figur 27. Sugkopparnas position kan justeras med hjälp av cylinder, sprint, rattskruv och friktionslås.

Koncept Cylinder är uppbyggt som namnet påvisar; med hjälp av pneumatiska cylindrar där tvärarmen skjuts in och ut. Olika typer av lösningar på detta är var cylindrarna är monterade - inuti profilerna, ovanpå och så vidare. Koncept Sprint är uppbyggt på sprinttekniken men låsningen är fjädrande, exempelvis som en justerbar krycka. Koncept Rattskruv fungerar med hjälp av en rattskruv som sitter i ett gängat hål i tvärarmarna. Tvärarmarnas längd justeras med hjälp av ett spår på innerprofilens ovansida. Koncept Friktionslås liknar rattskruvsprincipen men denna skruv förs in i ett hål på mittbalken och skruvas på innerprofilen, alltså tvärbalkens ovansida, och får fäste med hjälp av friktionsgivande material på skruvänden.

Dessa fyra koncept diskuterades i samråd med uppdragsgivaren samt med Kent Johansson som samarbetar med Willebrand vad gäller industriell tillverkning: Konceptet Cylinder var intressant, dock var det överflödigt med dess snabba justering eftersom justering inte sker så pass ofta att nämnvärd tid sparas in. Det är även relativt dyrt för en enkel funktion. Vad gäller koncept Friktionslås var det en stor nackdel att skruven trycker på ovansidan av tvärbalken. Detta kan i det långa loppet leda till deformation av profilen vilket i största möjliga mån ska undvikas. Problemet uppstår inte med rattskruven eftersom trycket istället ligger på innerprofilens undersida, som får stöd från ytterprofilen. Konceptet Friktionslås och koncept Sprint hade nackdelen att det inte fanns något säkerhetsstopp för tvärbalken. Detta kan visserligen åtgärdas men kräver mer bearbetning.

Koncept Rattskruv hade tydliga fördelar; enkel justering och minimal bearbetning. Spåret som skruven har som spelrum gör att tvärbalken inte kan åka ut okontrollerat utan rattskruven fastnar i spårets ände. Denna funktion värderades högt av uppdragsgivaren. Detta avgjorde konceptvalet och gjorde koncept Rattskruv till vinnare.

4.2 Lyft vid hög/låg höjd

Tre koncept återstod från konceptgenereringen för lyft vid hög/låg höjd; Koncept Led, Koncept Arm och Koncept Skena. Eftersom samtliga koncept var genomförbara utvärderades dem för att finna det mest lämpliga konceptet. Detta ledde vidare till ett slutgiltigt koncept som i sin tur gick vidare till nästa fas; detaljdesign. Utvärderingen genomfördes med hjälp av en viktad konceptvalsmatris vilket ger en god indikation på vilket koncept som är mest lämpligt, så länge de viktigaste kriterierna är inkluderade (Ulrich & Eppinger 2008). Kriterierna sattes upp i samråd med uppdragsgivaren, AB Furhoffs Rostfria och handledaren vid Högskolan i Skövde för att kunna avgöra vilka kriterier som skulle vägas in och hur viktiga de var i relation till varandra. Efter dessa diskussioner drogs slutsatsen att följande kriterier var viktigast för funktionen lyft vid hög/låg höjd:

- Låg påverkan för midjehöga lyft
- Enkel att justera för låga och höga lyft (10 cm till 200 cm)
- Tar upp minimalt med plats
- Minimalt antal knappar på manöverdon

Viktningen av dessa diskuterades igenom i samråd med uppdragsgivaren och en total procentsumma på 100 % användes. Låg påverkan för midjehöga lyft är ett viktigt kriterium eftersom lyftverktyget måste kunna fungera väl även för normala lyft, det vill säga runt midjehöjd. Lyft ska kunna ske utan att påverkas av en extra funktion. Detta är för att företag som inte använder plåtbyråer, och därmed inte har behov av ett verktyg som klarar höga lyft, ska kunna använda sig av lyftverktyget. Därför viktades detta kriterium till 35 %. Kriterium ”enkel att justera för höga respektive låga lyft” är det näst viktigaste för detta lyftverktyg eftersom det är själva huvudproblemet. Detta viktades till 30 %. Att lyftverktyget tar upp minimalt med plats är ett önskemål, speciellt från AB Furhoffs Rostfria eftersom de inte har mycket utrymme att röra sig på mellan plåtbyrå och lasermaskin. Eftersom det endast är ett önskemål men samtidigt en relativt viktig aspekt när det gäller säkerhet viktades detta kriterium till 20 %. Det sista kriteriet där minimalt antal knappar på manöverdonet eftersträvas viktades till 15 % eftersom även det är ett önskemål men underlättar ändå användningen och minskar eventuell förvirring. Unika funktioner på koncepten kan medföra fler knappar på manöverdonet, exempelvis på koncept Led som behöver en funktion som låser fast armen i önskad position. En sådan funktion kan innebära extra knappar på manöverdonet. Fullständig konceptvalsmatris kan ses i tabell 2.

Tabell 2. Viktad konceptvalsmatris.

		Koncept Led		Koncept Arm		Koncept Skena	
Kriterium	**Vikt**	**Poäng**	**Viktad poäng**	**Poäng**	**Viktad poäng**	**Poäng**	**Viktad poäng**
Låg påverkan för midjehöga lyft	35%	4	1,4	2	0,7	3	1,05
Minimalt antal knappar	15%	3	0,45	4	0,6	4	0,6
Enkelt att justera för höga och låga lyft	30%	3	0,9	2	0,6	4	1,2
Tar upp minimalt med plats	20%	4	0,8	1	0,2	3	0,6
Total poäng	100%	14	**3,55**	9	**2,1**	14	**3,45**

Enligt den viktade konceptvalsmatrisen fick Koncept Arm lägst viktad poäng, totalt 2,1. Koncept Led och Koncept Skena fick likvärdiga poäng med en liten fördel för Koncept Led, 3,45 respektive 3,55 viktad poäng. Dock fick både Koncept Led och Koncept Skena 14 poäng vardera, vilket medförde att endast viktningen avgjorde deras rank. För att säkerhetsställa själva viktningen genomfördes en ytterligare viktad konceptvalsmatris, denna gång med hjälp av Olssons (1995) mall för kriterieviktning. Resultatet kan ses i tabell 3 och påvisar att viktningen i den förra konceptvalsmatrisen låg nära den modifierade men en större skillnad fanns gällande kriteriet *minimalt antal knappar* och *låg påverkan för midjehöga lyft.* Kriteriet med minimalt antal knappar hade tidigare viktats till 15 % men blev utifrån mallen 6 %. Kriteriet med låg påverkan för midjehöga lyft hade viktningen 35 % men med hjälp med mallen ökade denna till 44 %. Dessa skillnader hade inte större inverkan på det totala resultatet och koncept Led vann även denna gång.

Tabell 3. Viktad konceptvalsmatris med ändrad viktning.

		Koncept Led		Koncept Arm		Koncept Skena	
Kriterium	**Vikt**	**Poäng**	**Viktad poäng**	**Poäng**	**Viktad poäng**	**Poäng**	**Viktad poäng**
Låg påverkan för midjehöga lyft	44%	4	1,76	2	0,88	3	1,32
Minimalt antal knappar	6%	3	0,18	4	0,24	4	0,24
Enkelt att justera för höga och låga lyft	31%	3	0,93	2	0,62	4	1,24
Tar upp minimalt med plats	19%	4	0,76	1	0,19	3	0,57
Total poäng	100%	14	**3,63**	9	**1,93**	14	**3,37**

Utifrån dessa resultat genomfördes ett konceptval genom diskussion med uppdragsgivaren, AB Furhoffs Rostfria och personer inom ämnet integrerad produktutveckling på Högskolan i Skövde. Koncept Arm valdes till slut bort, dels på grund av den låga viktade poängen och dels på grund av att det fanns vissa tveksamheter i konceptet som kom fram under diskussion. Bland annat blir själva lyftverktyget betydligt högre än övriga koncept vilket ställer till problem i lokaler med begränsad takhöjd och för de företag som använder sig av svängkran. Ett annat problem var manövreringen av lyftverktyget. Då handtaget sitter ledat högt upp kan detta leda till att lyftverktyget blir svårare att kontrollera. Manöverpanelen sitter långt ifrån stolpen på lyftverktyget, vilket kan medföra så kallad byrålådseffekt, och kräver mer arbete och utvärdering för att hitta en lösning som fungerar utan att lyftverktyget blir svårare att hantera.

Koncept Skena fick relativt höga poäng i den viktade konceptvalsmatrisen men även den valdes bort till slut. Anledningen till detta var att justeringen hamnar ovanför axelhöjd för användaren vilket inte är ergonomiskt. Dessutom måste vinkeln vara fixerad vilket inte ger samma möjligheter till justering som de övriga koncepten.

Till slut valdes Koncept Led som det slutgiltiga konceptet. Anledningen till detta var dels att den fick högst poäng i den viktade konceptvalsmatrisen samt att det var den lösning som uppdragsgivaren och AB Furhoffs Rostfria föredrog.

4.3 Manövrering

De sex koncept som återstod från konceptgenereringen för manövrering utvärderades för att se hur de låg till i jämförelse med varandra och för att ha som grund till konceptval. Detta gjordes med hjälp av en metod som Ulrich och Eppinger (2008) kallar för ”concept-screening matrix”. Metoden använder sig av ett grovt jämförelsesystem för att minska antalet koncept. Kriterierna som koncept A-F jämfördes med var följande: *utformat för definierad målgrupp, tvåhandsgrepp för att släppa lasten* och att *reglage ska vara enkla att förstå och använda*. Dessa kriterier ansågs vara de viktigaste med avseende på manöverdon och anledningen till denna tabell var att se vilka koncept som låg i framkant. Om konceptet uppfyller kriteriet *bättre än* ett generellt lyftverktyg sätts ett plustecken. Om det nya konceptet uppfyller kriteriet *lika väl* som det generella lyftverktyget sätts en nolla. Om det nya konceptet däremot uppfyller kriteriet *sämre än* det generella blir det ett minustecken. Summorna av plus, minus och noll ställs samman för varje koncept för att sedan kunna räkna ut dess poäng med hjälp av addition och subtraktion. Som kan ses i tabell 4 var det tre koncept som var främst, koncept B, C och E, vilket ledde till beslut om att det var de tre som också skulle väljas mellan i det slutgiltiga valet.

Tabell 4. Utsållningstabell för manöverdonskoncepten.

Kriteria	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Utformat för definierad målgrupp	0	+	+	-	+	+
Tvåhandsgrepp för att släppa lasten	0	0	0	0	0	0
Reglage ska vara enkla att förstå och använda	0	0	0	0	0	-
Summa +	0	1	1	0	1	1
Summa 0	3	1	1	2	2	1
Summa -	0	0	0	1	0	1
Poäng	0	1	1	-1	1	0
Rank	**2:a**	**1:a**	**1:a**	**3:a**	**1:a**	**2:a**

Uppdragsgivaren sållade ut koncept på manöverdon i samråd med Kent Johansson genom diskussion där alla koncept från A-F var med. Willebrand och Johansson visste inte om den tidigare utsållningstabellen vilket inte var en slump, målet var att få ett oberoende beslut. Koncept B blev snabbt vinnaren på grund av dess flexibla handtag med flera greppunkter och dess smidiga användning med naturligt utrymme för händerna. Dock måste mer utrymme finnas för fler knappar om den ska kunna användas. Koncept E var enkel, användbar men dock sämre än koncept B på grund av att handtaget inte behövde gå runt hela manöverpanelen samt att det inte var så pass nytänkande som uppdragsgivaren önskade. Trots det hölls konceptet kvar för vidare arbete.

Koncept D och F blev bortsållade på grund av för höga tillverkningskostnader vad gäller elektricitet och pneumatik, även att de var för specialiserade för ändamålet. Koncept C uteslöts eftersom det inte är möjligt att applicera standardknappar, som är att föredra, på en sådan liten yta som ändå handtaget kräver. Koncept A valdes tidigt bort på grund av dess risk med att kläder och andra föremål enkelt kan fastna i handtagen.

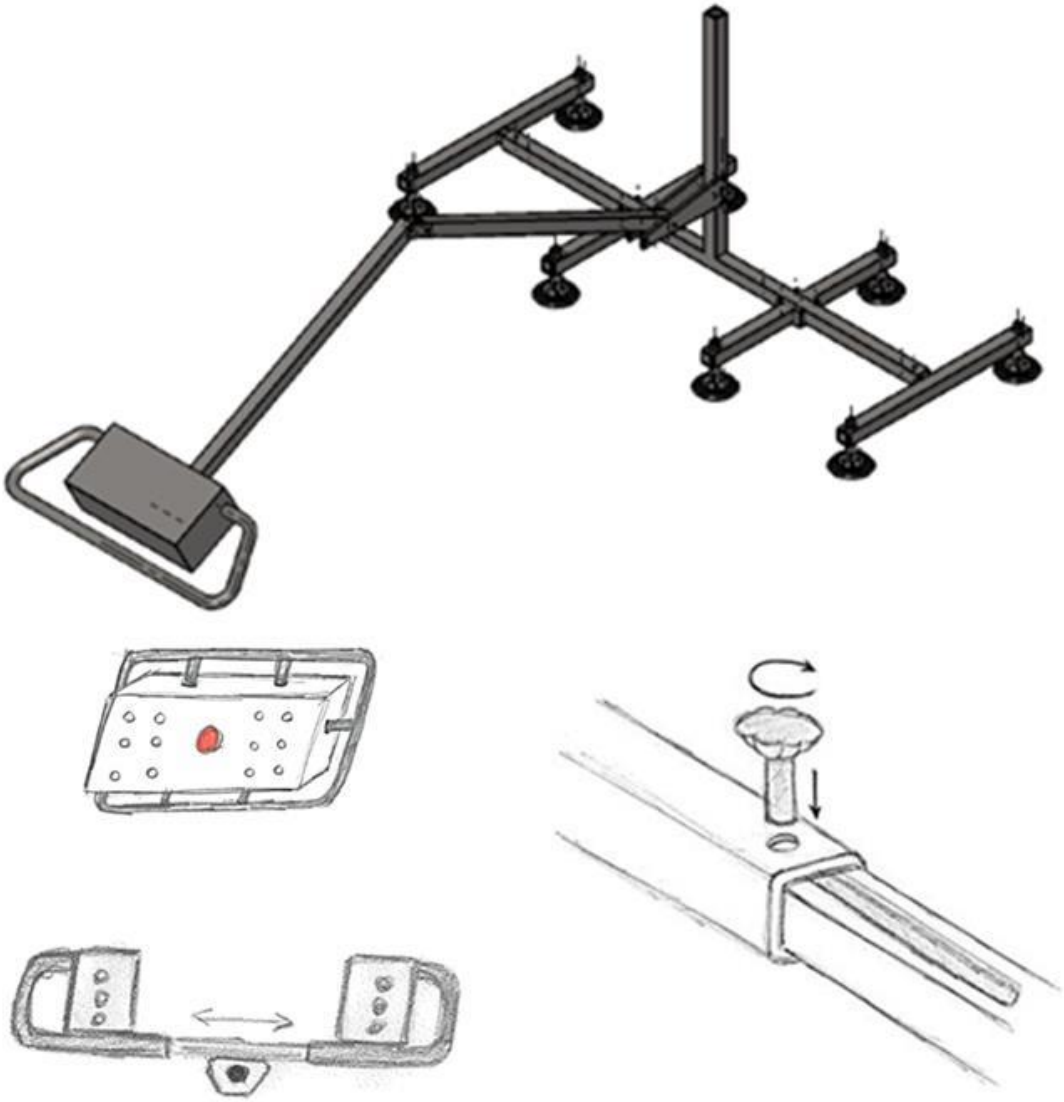
Lars Willebrands åsikter, i samråd med Kent Johansson som samarbetar med Willebrand vad gäller industriell tillverkning, stämde överens med intuitionerna. Koncept B och E var även två av de tre vinnande koncepten från utsållningstabellen vilket bidrog till beslutet att koncept B och E gick vidare till detaljdesignsfasen. Anledningen till två koncept istället för ett slutgiltigt var på grund av att Willebrand och Johansson ansåg att mer arbete krävdes för att utveckla ett optimalt manöverdon vilket skulle kunna innebära en kombination av koncept B och E. Denna vidareutveckling återfinns i kapitel 5.

4.4 Sammanfattning av konceptval

Konceptvalsfasen resulterade i att följande funktioner tillgavs utvecklade lösningar;

- Justering av sugkopparnas position – *Rattskruv*
- Lyft vid hög/låg höjd – *Koncept Led*
- Manövrering – *Koncept B och E*

Dessa lösningar kommer att detaljutvecklas vidare för att sättas ihop till ett slutgiltigt koncept. Grundidén till det nya lyftverktyget kommer alltså vara ett lyftverktyg som använder rörliga leder för att lyfta material från höga och låga höjder. Lyftverktyget kommer att ha justerbara tvärarmar som bestämmer sugkopparnas position. Denna justering använder sig av rattskruvar. Manöverdonet kommer att vara en standardpanel med ett mer flexibelt handtaget som möjliggör fler greppositioner för användaren. De valda koncepten, se figur 28, var ännu inte kompletta och behövde detaljutvecklas vilket bearbetas i nästa kapitel.



Figur 28. Konceptvalets resultat.

5 Detaljdesign

När alla delar i ett koncept har en grunddesign krävs detaljdesign för att förfina, anpassa och förbättra det totala konceptet. Det är här den slutgiltiga formen och dess dimensioner designas och bestäms samt där material väljs och ritningar konstrueras (Cross, 2008). I detta fall applicerades först information från förstudien i följande kapitel. Det gällde främst för manöverpanelen och dess handtag där antropometriska mått och användarstudie användes för att designa ett optimalt koncept för målgruppen. Modeller av två manöverpaneler med olika handtag tillverkades för att avgöra vilken typ av handtag som lämpar sig bäst i detta fall. Symbolanvändning diskuterades och symboler designades för ändamålet och lyftverktygets material valdes ut. Slutligen utvärderades hela konceptet med hjälp av Failure Modes Effects Analysis (FMEA), hållfasthetsberäkningar och med Finita Elementmetoden (FEM). Ritningar konstruerades efter denna detaljdesignfas vilket senare presenterades i bilaga 5.

5.1 Låsning av ledad arm

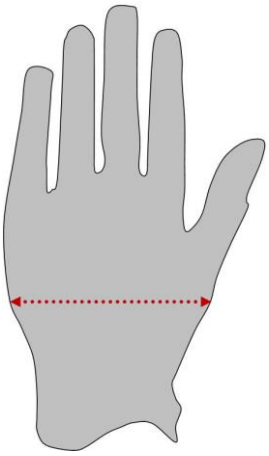
Som tidigare nämnts behöver Koncept Led någon sorts lösning för att användaren ska kunna styra lyftverktyget. Två tänkbara lösningar var under diskussion; plungelås och skivbroms. Plungelås kan använda sig av en pneumatiskt styrd cylinder och ett segment med hål i. Genom att lossa på en liten cylinderformad metalldel (plungen) med hjälp av den pneumatiskt styrda cylindern kan armen justeras fritt upp och ner av användaren. När användaren har hittat en position som passar kan cylindern föras in i valfritt hål på segmentet och armen låses fast och fungerar som ett vanligt lyftverktyg. Genom att använda en pneumatisk cylinder som låsning kommer denna kunna styras med hjälp av två extra knappar på manöverpanelen och användaren behöver därmed inte ändra positionen på händerna för att kunna använda den ledade armens funktion. En skivbroms fungerar i princip som för bromsning av ett bilhjul men med mindre storlek. Dess fördel är steglös positionering för den ledade armen. I samråd med uppdragsgivaren beslutades att plungelåset skulle vara det enklaste och mest ultimata alternativet på grund av ett lägre pris, enklare tillverkning och eftersom pneumatik redan används på lyftverktyget är det relativt enkelt att ha en extra slang till plungelåset.

5.2 Applicering av antropometriska mått

I detta projekt valdes den 5:e percentilen av svensk kvinna mellan 18-65 år som representerade den minsta gruppen som skulle kunna arbeta med lyftverktyget, samtidigt som 95:e percentilen valdes ut av svensk man mellan 18-65 år. Detta för att få en målgrupp som motsvarar en stor variation i storlek på användare eftersom denna variation är vanligt förekommande på industriarbetsplatser. Inom industrin arbetar endast de som är myndiga (18 år) upp till pensionsålder som har satts till 65 år. Funktionshindrade och äldre bortses från i detta fall eftersom det inte ansågs vanligt förekommande att dessa arbetar inom tung industri som kräver stora verktyg och kontroll. För att använda korrekta mått användes ett datorbaserat program – PeopleSize (2008), där rätt målgrupp valdes och sedan vilka mått som var aktuella. Dessa mått var följande:

- Axelbredd
- Handbredd inklusive tumme
- Höjd från mark till armbåge

Axelbredden var relevant vad gäller greppbredden för användaren. Att hålla ryggen rak med armarna i axelbredd var något som eftersträvades för lyftverktygets manövrering eftersom det är en naturlig ställning för kroppen. Antagandet gjordes att axelbredden har någon koppling till greppbredden och en efterforskning på detta gjordes vilket kan ses i nästa kapitel. Handbredden i detta fall är det mått som mäts från handflatans yttersta långsida till tummens yttre långsida, se figur 29.



Figur 29. Hur handbredd inklusive tumme definieras enligt PeopleSize (2008).

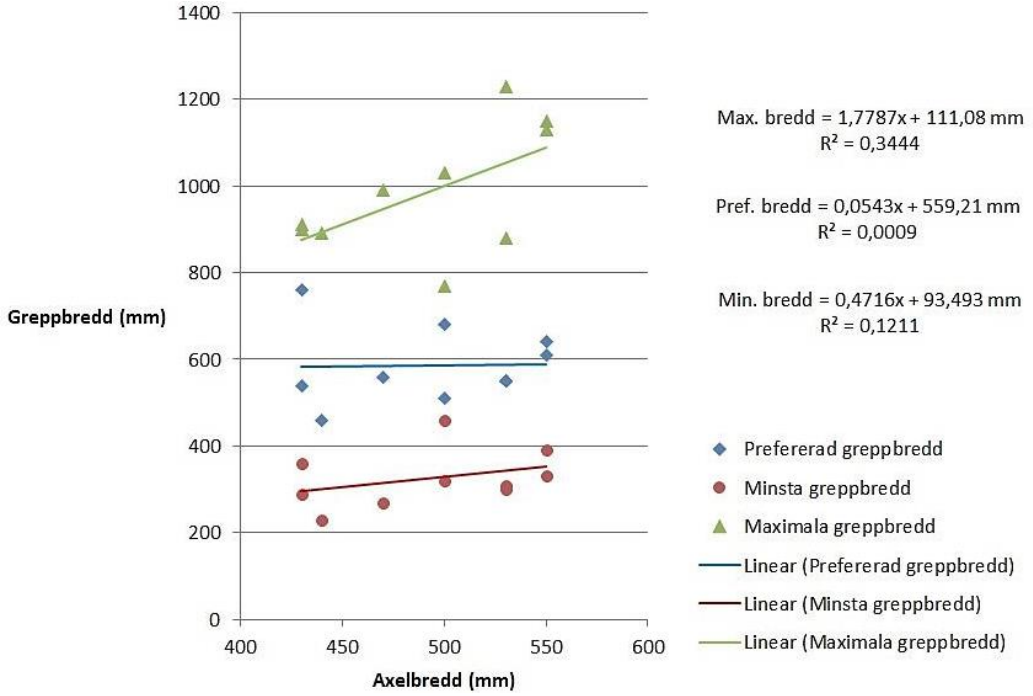
Höjd från mark till armbåge var något som togs hänsyn till vid detaljdesign på lyftverktygets ledade arm. När lyftverktyget ska användas vid lyft kring midjehöjd är det ett viktigt mått så att de flesta användare känner sig bekväma med manöverpanelens höjd. Dessa antropometriska mått valdes för att senare kunna användas i användarstudien för att förhoppningsvis komma ett steg närmare ett användarvänligt lyftverktyg.

5.3 Användarstudie för optimal greppbredd

Eftersom målgruppen valdes till 95:e percentilen man och 5:e percentilen kvinna kunde antropometriska mått som tidigare nämnts fås från PeopleSize (2008) och jämföras. Dock fanns inte specifika mått på prefererad greppbredd. Detta är personligt och kan vara svårt att mäta. För att hitta ett sätt för att ändå få någon uppfattning om vad som skulle kunna vara optimalt gjordes undersökningar med hjälp av tio slumpmässigt utvalda personer i olika åldrar och med olika kroppsbyggnad. Dessa personer fick ett handtag som hjälp vilket var dimensionerat till omkring det optimala 33 mm i diameter, se figur 30.

Figur 30. Handtag för användarstudierna.

Själva användandet av det framtida handtaget förklarades för att personerna skulle kunna sätta sig in i hur brett handtag de skulle behöva med tanke på den kraft som behövs, hur han eller hon skulle stå under detta arbete och så vidare. Personerna blev tillfrågade vad som var dess maximala-, minimala- och optimala greppbredd och även personernas axelbredd mättes och antecknades. Med hjälp av dessa mått kunde grafer skapas med tillhörande ekvationer i Microsoft Excel (se figur 31) där de tabellerade värdena och axelbredd från både testgruppen och percentilgrupperna kunde hjälpa till att förutspå hur 95:e percentilen man och 5:e percentilen kvinna skulle kunna välja sin optimala greppbredd.



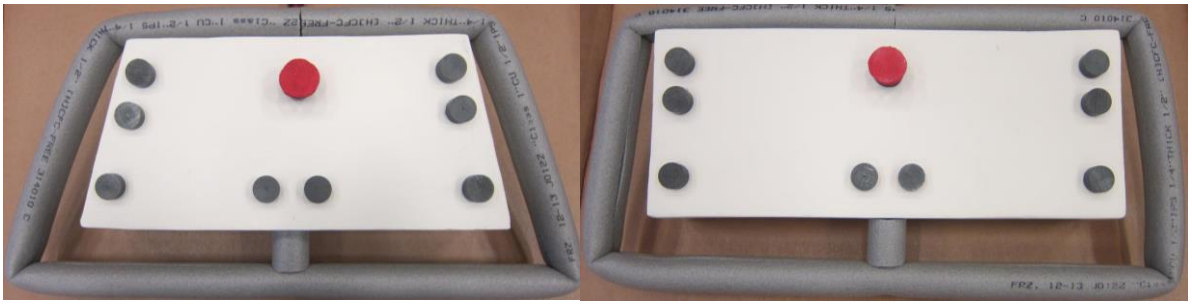
Figur 31. Trendlinjer och dess ekvationer för maximal bredd, prefererad bredd och minimal bredd.

Resultatet blev att den prefererade greppbredden för 5:e percentilen kvinna beräknades till 580 mm och samma mått för 95:e percentilen man beräknades till 587 mm. Dessa mått resulterade i en kompromissad greppbredd på 585 mm. Detta var över testgruppens minimala greppbredd och under den maximala vilket påvisade att det kunde användas för modellerna. Dock var ekvationens R^2-värde nära noll för ekvationen gällande den prefererade greppbredden, vilket tyder på att relationen mellan axelbredd och den personligt valda greppbredden inte är stark. Trots detta valdes greppbredden 585 mm på grund av att det hade en bättre grund än ett antagande och dessutom låg det inom spannet mellan den kortaste maximala greppbredden och den längsta minimala greppbredden.

Vid utformning av handtaget på manöverpanelen är det viktigt att tänka på att handskar kan användas inom industrin. Kompensationer måste därför göras för gripkraft, flexibilitet och storlek (Cacha, 1999). Arbetshandskar inom industrin var förr utrymmeskrävande men har nu moderniserats och många industrier, bland annat AB Furhoffs Rostfria, använder sig av handskar med endast en mm i tjocklek. Utifrån detta valdes att bortse från den kompensationen. När måttet på greppbredden var färdiganalyserad och hade bestämts till 585 mm började modeller av manöverdon byggas.

5.4 Modeller av manöverpanel

Två olika typer av manöverdon hade valts ut till detaljdesignen; Koncept B och E. Koncept E hade ett standardiserat uttryck där handtaget hade raka former och gick runt själva panelen som är rektangelformad. Koncept B hade även det handtag runt om panelen men panelen och handtagsdelarna på sidorna var vinklade. Koncept B var det koncept som hade genomgått störst förändring sedan konceptvalet. Idén till de vinklade kanterna uppstod vid byggandet av modellerna. Genom tester konstaterades att det då skulle vara lättare att nå samtliga knappar på manöverpanelen. I början var det tänkt att manöverpanelen skulle vara delad på mitten. Detta uteslöts dock på grund av att det skulle försvåra kabeldragning och placering av nödstopp. Istället användes en manöverpanel gjord i ett stycke, likt Koncept E. Modellerna skapades med hjälp av rosafärgad skummad styren, utsvarvade knappar i trä och rörisolering i polyetenskumplast (se figur 32). Dessa modeller användes för att återigen utvärdera känslan och greppbredden. Intresset var även stort över vilket koncept testpersonerna skulle föredra.



Figur 32. Modeller av manöverpaneler.

Återigen hjälpte tio personer till med att utvärdera och det som var av intresse var vilket koncept som kändes bäst, varför, vilka förbättringar som kunde göras, hur bra räckvidden var till knapparna och så vidare. Sammanfattningsvis föredrogs den sneda panelen framför den raka. Fördelarna för den sneda var att det kändes som den var mer flyttbar jämfört med den raka panelen som uppfattades som en kontrollpanel som lika gärna kunde vara uppsatt på en vägg. Den raka panelen kändes även som en standardprodukt vilket kan uppfattas som fantasilöst och inte nytänkande. De flesta kände även att den var onödigt stor och otymplig. En deltagare gav tips om att montera fast modellerna på en pinne eller på en kil för att få den rätta känslan av att manöverpanelen hänger i luften utan att användare måste hålla uppe den. Detta var en klar förbättring vilket visades när utvärderingen gjordes. Deltagarna kunde förflytta donet i någorlunda naturlig rörelse och förstod bättre hur det skulle användas.

Åsikter som dök upp var att den sneda panelen hade ett annorlunda formspråk, att det först var svårt att förstå vad som var upp och ner. Dock blev detta oerhört mycket enklare när panelen monterades på ett aluminiumrör. Den sneda panelen tilltalade samtliga i studien, fördelarna var att den var kompakt och smidig, bekväm vinkel och det var enklare att nå knapparna. Dock borde avståndet mellan knappar och handtag minskas på sidorna för att underlätta användandet ännu mer. Handtaget borde höjas alternativt att själva panelen med knapparna sänks för att kunna trycka på knappen mer naturligt. Något som var positivt var att alla deltagare ansåg att det var en bekväm greppbredd på båda panelerna.

5.5 Symbolanvändning

För att underlätta för användaren valdes att använda symboler istället för text på manöverpanelen. Symboler är illustrationer som bidrar till att göra objekt, handlingar och begrepp enklare att hitta, känna igen, lära sig och minnas (Lidwell, Holden & Butler, 2003). Symboler är även internationellt användbara. Lidwell, Holden och Butler (2003) menar vidare att symboler kan delas in i fyra grupper:

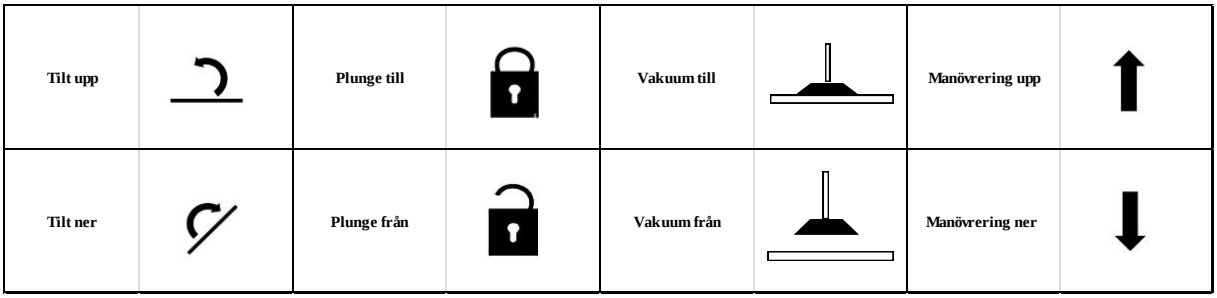
- *Liknande symboler* - De mest effektiva symbolerna som speglar den verkliga situationen, exempelvis högersvängspil på en trafikskylt.

- *Exempelsymboler* - Bilder används som ofta förknippas med en handling, objekt eller begrepp, exempelvis en kniv och en gaffel som korsar varandra vilket påvisar att en restaurang är inom räckhåll.

- *Symboliska symboler* - Symboler som representerar vissa ting och som kan användas för flera ändamål, exempelvis ett öppet hänglås för upplåst läge.

- *Godtyckliga symboler* - Dessa symboler är inte knutna till dess handling eller objekt men är något som betraktaren lär sig, exempelvis symbolen för att något är radioaktivt.

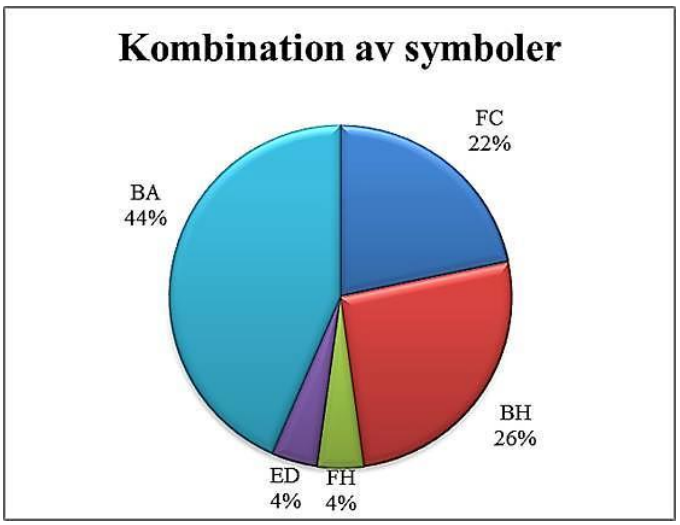
Genom denna information ritades åtta olika symboler upp. Var och en för vardera av lyftverktygets grundläggande funktioner, se figur 33.



Figur 33. Symboler som ritades upp för varje funktion till manöverpanelen.

Symbolerna för tilt upp och ner valdes att använda gruppen av *liknande symboler* eftersom det inte är så pass vanligt förekommande med tiltfunktion att det finns en standardsymbol utan då kan det vara en fördel att ha en symbol som efterliknar den verkliga situationen. Plunge till och från är egentligen en låsningsfunktion vilket symboliseras med ett låst och ett öppet hänglås som hör till kategorin *symboliska symboler* och är lättigenkännlig eftersom denna symbol förekommer i de flestas vardag. Vakuum till och från är lika mycket egendesignade symboler som för tiltfunktionen vilket medför att även dessa hör till kategorin *liknande symboler*. Manövrering upp och ner representeras av pilsymboler vilket också är *liknande symboler*.

För att kontrollera användbarheten hos dessa symboler genomfördes en undersökning genom att använda enkäter. Enkäterna var utformade på det sätt att personen skulle para ihop funktion med symbol utefter deras intuition och erfarenhet. Det fanns även utrymme för deltagarnas egna synpunkter. Av de 23 personer som deltog visade det sig att samtliga deltagare hade gett samma svar. Det visade sig att det inte var några större problem med att para ihop funktion med passande symbol jämfört med facit i figur 33. De synpunkter som kom fram var att tiltfunktionen kunde missuppfattas, även om det gick att använda uteslutningsmetoden för att ange rätt symbol. På grund av detta gjordes ytterligare en enkät, där användaren istället fick välja vilken utav nio olika alternativ som skulle användas till endast tiltfunktionen. I denna undersökning var inte svaren lika entydiga men större delen av de utfrågade valde alternativ B och A (se figur 34).



Figur 34. 44 % valde kombination BA för tiltsymboler.

B och A utsågs därmed som symboler för tiltfunktionen på det slutgiltiga konceptet. Eftersom den större delen av de utfrågade uppfattade tiltfunktionen rätt, utfördes ingen vidarestudie för symbolerna. Däremot ändrades pilarnas utformning inför den slutgiltiga manöverpanelen för att få en mer naturlig rörelse i bilden. Kompletta enkäter återges i bilaga 2 och 3.

5.6 FMEA

FMEA är en förkortning av *Failure Mode and Effect Analysis,* som kan översättas till felriskanalys, vilket är en metod för att lära känna produktens/processens möjliga brister (Blomgren, 1997). Ursprunget är inom flygindustrin där Boeing utstakade metodens framtid. På 70-talet spred tekniken ut sig till rymd-, kärnkrafts- och bilindustrin. Blomgren (1997) menar vidare att FMEA numera används även inom andra områden där målet är att hitta svaga punkter. Risker som kan uppstå med exempelvis konstruktionen analyseras och för att underlätta delas gärna konstruktionen in i delar för att öka hanterbarheten. Sedan bedöms risken för att felet uppstår, hur allvarliga konsekvenserna är och sannolikheten till att felet uppstår (Blomgren, 1997). I detta fall användes FMEA på hela konstruktionen där den delades upp i komponenter men även användes som en hel produkt. Endast de mest troliga felen analyserades, detaljer exempelvis i sugkoppsfästet analyserades ej eftersom det blir relativt små konsekvenser som uppstår i jämförelse med om till exempel själva sugkoppen skulle brista.

Exempel på komponenter som analyserades i detta fall var tvärarmarna, sugkopparna, manöverpanelen och även hela lyftverktyget. Frekvens, allvarlighetsgrad och upptäckssannolikhet var graderade från tal 1-10 där 1 representerade mycket bra och 10 representerade mycket dåligt. Dessa intervall kommer från Rolf Lövgren (2009) och alla värden som var satta för de olika komponenterna framkom vid diskussion med uppdragsgivaren. Som kan ses i figur 35 fick fel angående manöverpanelen störst risktal, 600. Eftersom det maximala risktalet är 1000 är risken stor att fel uppstår med manöverpanelen. Det farligaste som kan hända är att knappen trycks in som släpper från vakuumet vilket leder till att eventuell last släpps. Detta kräver åtgärd, exempelvis med hjälp av längre intryckningstid på just den knappen, sensor som känner av lasten och inte tillåter att felet uppstår eller bättre design på knapparna. Det näst värsta felet som skulle kunna ske är vid strömavbrott. Om lyftverktyget är lastad med en plåt och strömmen försvinner, försvinner även möjligheten till manövrering och plåten kan släppa från sugkopparna. Detta fel fick risktalet 300 och kräver åtgärd. En möjlig åtgärd skulle kunna vara en backventil som säkrar lasten lite längre och skapar tid för användaren att säkra området kring och under lyftverktyget vid eventuellt fall av plåten.

3	Manöverpanel	Styra lyftverktygets funktioner	"Vakuum från"-knapp trycks in med last	Vakuum kopplas från och plåten lossnar från sugkopparna	Mänskliga faktorn/missvisande knappar	6	10	10	600

Figur 35. Exempel från FMEA.

I samråd med uppdragsgivaren valdes att använda en sensor som känner av att lyftverktyget är lastat. Detta medför att ifall knappen för *vakuum från* trycks in, medan last är hängande i sugkopparna, händer ingenting. Denna åtgärd minskade risktalet till 40 vilket är en markant skillnad. Problemet vid strömavbrott beslutades att åtgärda genom att använda sig av en backventil på grund av att det är en vanlig förekommande lösning inom industrin som fungerar. Denna åtgärd minska risktalet till 48 vilket även minskar risk för allvarliga olyckor. Den kompletta felriskanalysen (FMEA:n) kan ses i bilaga 4.

Med hjälp av en felriskanalys kan olyckor förhindras innan de sker. Säkerheten är alltid viktig när människor är i närheten och kan utsättas för risker. Enligt Arbetsmiljöverket (2006) ska en lyftanordning och ett lyftredskap underhållas och genomgå fortlöpande tillsyn, till och med dagliga kontroller, när det används vilket är viktigt för säkerheten. Detta gäller speciellt för sugkopparna vilket AB Furhoffs Rostfria har tagit fasta på och genomför regelbunden okulär granskning på, vilket alla företag som innehar sådana verktyg ska ta sig tid till. Arbetsmiljöverket (2006) menar vidare att hållfastheten och stabiliteten skall säkerställas. Maximala lasten ska vara tydligt utmarkerad, gärna även maximal last för olika konfigurationer Riskerna ska vara begränsade för att lasten ska falla fritt, lossna eller röra sig på ett farligt sätt. Arbetsmiljöverket (2006) råder endast innehavare av lyftverktyg att följa föreskrifter, det är inte tvingade. Dock kan konsekvenserna bli omfattande om olyckor sker.

5.7 Materialval

Uppdragsgivaren hade från början ett önskemål om att lyftverktyget skulle tillverkas i kvadratiska fyrkantsprofiler av stål. Dessa erbjuder en rad goda egenskaper, enligt Atlas Tube (2012), som gör det lämpligt att användas som stomme till lyftverktyget:

- Goda hållfasthetsegenskaper i förhållande till sin låga vikt
- Bra pris i förhållande till kvalitet
- Enkel att sammanfoga och svetsa
- Hög ytfinish
- Lätt att måla
- Matchande profiler kan löpa i varandra

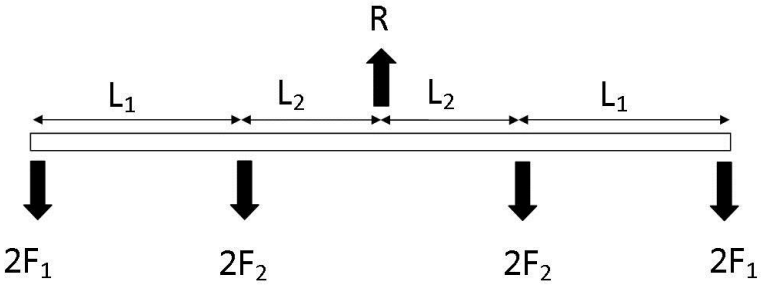
Den främsta fördelen med att använda fyrkantsprofiler är att matchande storlekar kan löpa i varandra (Atlas Tube, 2012). Detta utnyttjades till lyftverktygets justerbara armar där en 40x40 mm profil användes till mittbalken och en 30x30 mm profil användes till att konstruera tvärarmarna som löper i mittbalken. En annan fördel med att använda fyrkantsprofilerna till lyftverktygets stomme är att dimensionerna enkelt kan bytas ut utan att behöva göra större ingrepp på konstruktionen. Om en kund har behov av att kunna lyfta större plåtar kan detta enkelt lösas genom att välja en fyrkantsprofil med större dimension och sedan konstruera tvärarmarna i storleken under denna dimension. De två vanligaste varianterna på fyrkantsprofiler är konstruktionsrör som är kallformade (KKR) och varmformade (VKR). VKR erbjuder något bättre hållfasthetsegenskaper men kommer i gengäld med en högre prislapp, 18,40 kr/kg för VKR jämfört med 14,30 kr/kg för KKR (BE Group 2014). Då VKR inte ger några direkta fördelar i relation till det högre priset kommer merparten av lyftverktygets stomme konstrueras i KKR. Eventuellt skulle VKR kunna användas för att anpassa lyftverktyget till kunder med speciella lyftbehov.

5.8 Hållfasthetsberäkningar och FEM-analys

För att säkerhetsställa att lyftverktyget levde upp till kravet att lyfta plåtar på upp till 800 kg gjordes först analytiska hållfasthetsberäkningar för att senare kunna kontrollera och jämföra mot en FEM-analys. De beräkningar som gjordes var för de dragspänningar som kan uppstå i den stolpe som bär upp lyftverktyget samt de böjspänningar som uppstår i mitten på mittbalken vid maximal last. Som nämnts tidigare används KKR fyrkantsprofiler. Lyftverktygets stomme, mittbalk, tvärarmar och stolpe utgörs av profiler i dimensionerna 40x40 mm respektive 30x30 mm. Det stål som profilerna tillverkas i är S355J2H och har en sträckgräns på 355 MPa enligt BE Group (2014). Detta innebär att med en säkerhetsfaktor på 2,0 får spänningarna aldrig överstiga 177,5 MPa någonstans på lyftverktyget. Plåten och lyftverktygets tyngd hålls upp av en stolpe som är tillverkad i en 40x40 mm profil. Denna sitter fast mitt på mittbalken och kopplar samman lyftverktyget med telfern. Då denna stolpe tar upp hela plåtens tyngd ansågs det viktigt att beräkna de dragspänningar som uppstår vid maximal last. Dessa dragspänningar beräknades enligt Hookes Lag (ekvation (1)) utifrån Sundström (2008) där F = maximala lasten som är 800 kg multiplicerat med tyngdaccelerationen 9,81 m/s^2 och A = tvärsnittsarean på stolpen [m^2]. Dessa dragspänningar beräknades uppgå till cirka 13 MPa. Då materialets sträckgräns är 355 MPa utvärderades inte dragspänningarnas påverkan vidare då risken för plasticering ansågs vara låg.

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

I figur 36 visas en förenklad friläggning av lyftverktyget. Krafterna som verkar på lyftverktyget är olika beroende på sugkoppsparens position. I friläggningen visas krafterna som sugkoppsparens totala krafter. De olika längderna är följande; L_1 = 0,78 m L_2 = 0,39 m och användes senare för att beräkna böjmomentet.

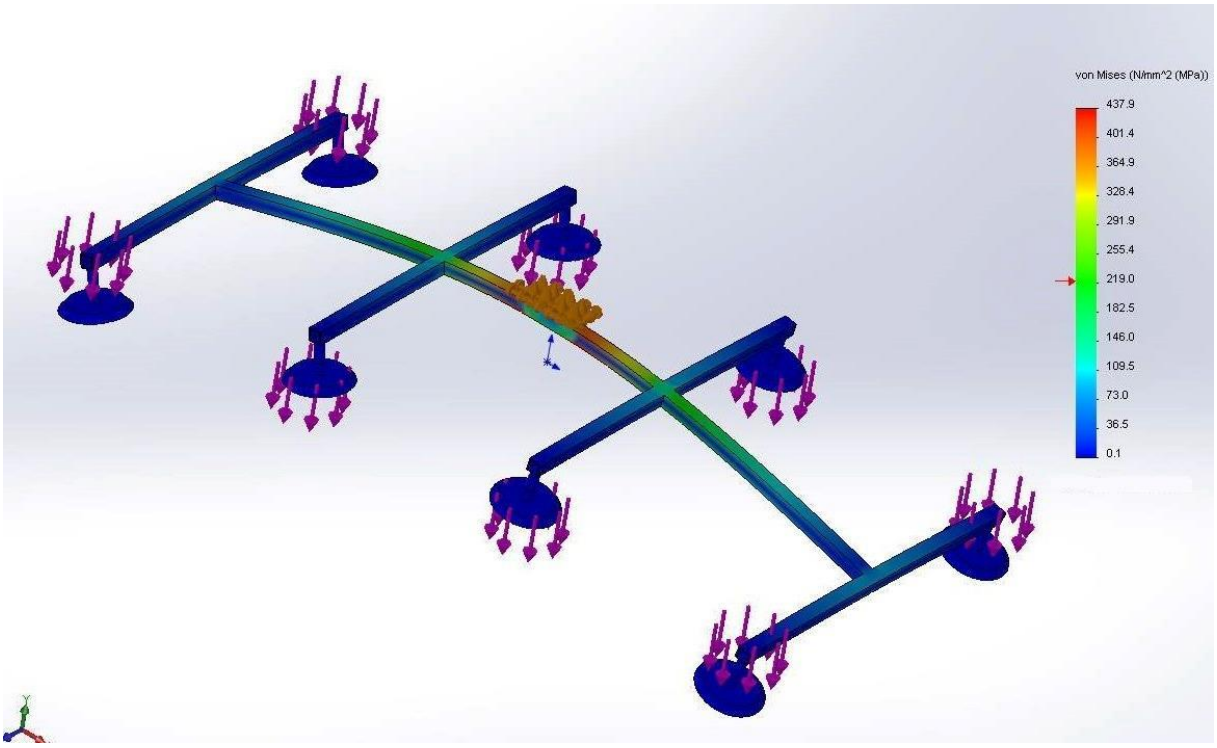


Figur 36. Friläggning av det förenklade lyftverktyget.

Genom att använda friläggningen och bidragande jämviktsekvationer beräknades krafterna från plåten vilket resulterade i att F_1 = 785 N samt att F_2 = 1177 N. Med hjälp av ekvation (2) från Sundström (2008) beräknades krafternas resulterande böjmoment, M_b = 3366 Nm, då lyftverktygets armar är justerade till maximal längd.

$$|\sigma_b| = \frac{M_b}{W_b} \qquad (2)$$

Materialets böjmotstånd (W_b) används för att beräkna böjspänningarna på lyftverktyget och enligt Tibnor (2011) är materialets böjmostånd 5540 mm^3 för en 40x40 mm profil och enligt Sundström (2008) skulle detta då ge böjspänningar på 608 MPa i mittbalken. Då materialet plasticerar vid 355 MPa är detta oacceptabelt och en åtgärd är nödvändig ifall lyftverktyget ska klara av att lyfta plåtar på 800 kg. Större dimension på mittbalken är en lösning. För säkerhets skull gjordes även en FEM-analys med hjälp av programmet Solid Works Simulation och dessa gav ungefär samma utslag som de analytiska beräkningarna, se figur 37. Böjspänningarna uppgår till cirka 600 MPa centralt på mittbalken.



Figur 37. FEM-analysen som genomfördes på lyftverktygets mittbalk.

I alla beräkningar har lyftverktygets egentyngd bortsetts från på grund av att den tyngden förmodligen endast skulle påverka dragspänningarna i stolpen vilket direkt kan bortses från då säkerhetsfaktorn är så pass hög. Sedan antas konstruktionen väga mindre än en 800 kg plåt som lastas och konstruktionen består av små detaljer vilket försvårar beräkningsarbetet. Hållfasthetsberäkningar ger dock en god uppfattning om var de största spänningarna uppstår och om det äventyrar lyftverktygets säkerhet.

För att lösa problemet med de böjspänningar som uppstår på mittbalken ändrades konstruktionen för att nå upp till en önskad säkerhetsfaktor på 2,0. Genom att konstruera mittbalken i en större dimension av fyrkantsprofiler, exempelvis 70x70 mm, ökar konstruktionens hållfasthet. En 70x70 mm profil har ett högre böjmotstånd, 20600 mm^3 jämfört med 5540 mm^3 för en 40x40 mm profil. Detta skulle medföra att de maximala böjspänningar som uppstår reduceras till 163,4 MPa, vilket är betydligt lägre än tidigare. Då skulle säkerhetsfaktorn mot plasticering bli 2,17 vilket är godkänt. Om en högre säkerhetsfaktor önskas skulle det vara möjligt att gå upp ytterligare några dimensioner. Eftersom konstruktionen är till största delen byggd av fyrkantsprofiler medför inte detta några större problem.

6 Resultat

Det slutgiltiga lyftverktyget är ett nytt koncept med några unika funktioner som inte finns hos konkurrerande lyftverktyg på marknaden. Det som får detta lyftverktyg att skilja sig från mängden är en ledad arm (se figur 38) som underlättar för lyft vid låga och höga höjder samt en mer ergonomiskt utformad manöverpanel jämfört med konkurrenternas (se figur 39). Det har även andra användbara funktioner som; möjlighet till justering av sugkopparnas position för att kunna anpassas för olika plåtstorlekar, en tiltfunktion som styrs av en pneumatisk cylinder samt en upphängningsanordning som gör att endast en skiva lyfts i taget.

Lyftverktyget är även konstruerat på ett sådant sätt att det enkelt kan anpassas efter kundens behov. Om kunden inte använder en plåtbyrå, eller helt enkelt inte utför lyft från höga och låga höjder, kan förlängningsbalken enkelt monteras bort. Detta medför att lyftverktyget fungerar mer eller mindre som ett vanligt lyftverktyg. Att i princip hela konstruktionen är byggd i fyrkantsprofiler är också något som är positivt för kundanpassningen. Om en kund inte har behov av att lyfta tunga material kan en mindre dimension användas på profilerna, utan att behöva göra stora ingrepp på själva huvudkonstruktionen.

Figur 38. Det slutgiltiga lyftverktyget.

Figur 39. Lyftverktyget med en manikin som användare.

På det färdiga lyftverktyget sitter två armar med fyra sugkoppar, vid behov kan två extra armar fästas på mittbalken vilket ger totalt åtta stycken sugkoppar. Samtliga sugkoppars position kan justeras i både längd och bredd, se figur 40. Genom att utnyttja fyrkantsprofilernas konstruktion kan tvärarmarna enkelt justeras genom att använda två fyrkantsprofiler med olika dimension, exempelvis en 40 mm och 30 mm profil. Genom att fräsa ett spår i den mindre profilen, kan profilen glida fritt och med hjälp av en rattskruv kan tvärarmarna låsas fast i önskvärt läge. Genom denna funktion kan lyftverktyget användas till material av flera storlekar. Justeringen har anpassats efter de vanligaste plåtstorlekarna på industrier. De minsta plåtarna är i vanliga fall, 2x1 m och de största 3,0x1,5 m.

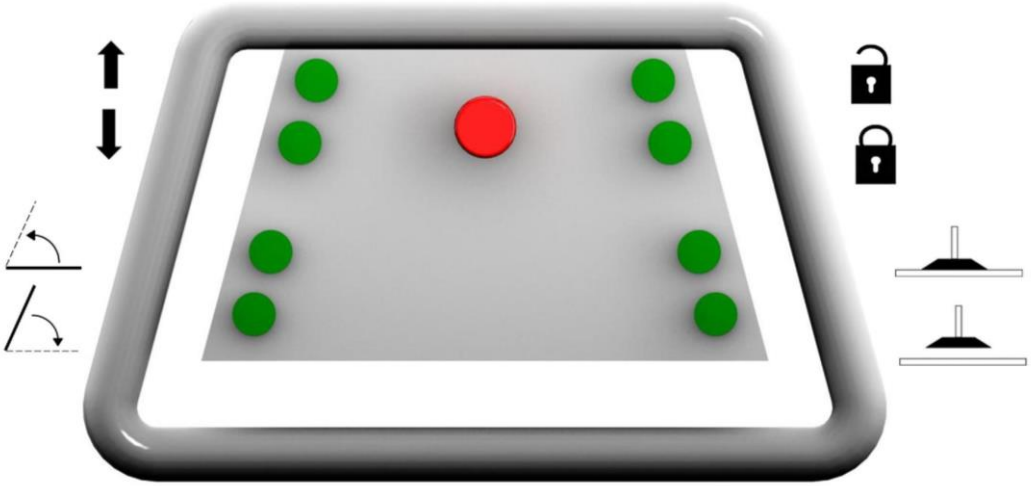
Figur 40. Justeringsprincipen vid en sugkopp, här utan rattskruv.

Liksom många andra lyftverktyg har även det slutgiltiga konceptet en tiltfunktion. Denna kan vara användbar då plåtar flyttas från till exempel en plåtbyrå till ett vertikalt ställ. Tiltfunktionen fungerar med hjälp av två fästplåtar som är fästa på en balk på mittbalken, samt en fästplåt som sitter nästan längst upp på stolpen. På båda plåtarna sitter en cylinder på 15 mm där sedan den pneumatiska cylindern fästs, se figur 41. Själva tiltningen sker sedan genom att anpassa längden på cylindern med hjälp av tryckluft och detta styrs via manöverpanelen. Med denna funktion kan material tiltas från horisontellt till vertikalt läge och omvänt.

Figur 41. Cylinder för tiltfunktionen.

För att lösa ett av huvudproblemen, lyft vid hög/låg höjd, har det slutgiltiga konceptet utrustats med en ”arm” som är kopplad vidare till lyftverktygets manöverpanel. På lyftverktygets mittbalk sitter ett handtag fäst i fyra stycken plåtar. Handtaget är konstruerat i 40x40 mm KKR-profiler. För att låsa fast den ledade armen används ett kvartscirkelformat segment med nio hål och ett tillhörande plungelås. Detta segment är fäst på den högra balken på handtaget. Plungelåset fungerar med hjälp av en pneumatisk cylinder som går in i hålen och justeras in och ut genom manöverpanelen. Genom denna princip kan armen justeras totalt 90 grader med tio graders stigning. På toppen av handtaget sitter två plattjärn som används till att fästa antingen manöverpanelen eller förlängningsbalken. Om kunden inte har behov av att lyfta högt och lågt fästs manöverpanelen direkt på handtaget. För de kunder som lyfter högt och lågt används en förlängningsbalk som fästs på handtaget och sedan fästs manöverpanelen i andra änden på förlängningsbalken med hjälp av två plattjärn. Mellan förlängningsbalken och hantaget sitter även två plattjärn som används för att kunden själv ska kunna justera vinkeln utifrån behov. Längden på förlängningsbalken har justerats så att manöverpanelen på lyftverktyget fortfarande är i midjehöjd då lyft sker från maximal höjd, två meter. Detta är med hänsyn till att de flesta användare troligen vill ha lite vinkel då de arbetar med lyftverktyget, så att de inte hamnar rakt under det. I detta fall har denna vinkel uppskattats till cirka 30 grader.

Lyftverktyget har utformats med en helt ny manöverpanel. Grundprincipen är att ha en standardpanel med ett handtag runt om för att ge användaren flexibilitet, se figur 42. Skillnaden är här att istället för en panel med raka sidor finns en vinkel på 15 grader. Fördelen med denna vinkel är att på det sättet kan användaren nå fler knappar utan att behöva byta position på händerna, samtidigt som handlederna är i en bekväm position. Knapparna är placerade vid sidorna av panelen för att lätt kunna nås då användaren använder handtagen för att styra lyftverktyget. Knapparna är även grupperade två och två efter dess funktion och har försetts med symboler för att snabbt kunna identifieras och särskiljas av användaren. På undersidan av panelen löper handtaget parallellt med panelen. Fördelen med denna konstruktion är att användaren ska kunna använda händerna i ett horisontellt läge, vilket ger mer kraft då lyftverktyget ska förflyttas i sidorna. Eftersom förflyttningen sker upp och ned med hjälp av traversen används handkraft främst vid förflyttning i sidled, därav denna konstruktion. Bredden på handtaget är måttsatt till 585 mm vilket medför att det kan användas av en stor målgrupp utan att kännas obekvämt, samtidigt som de som vill ha ett smalare grepp kan utnyttja handtagets fulla längd. Av totalt 22 ritningar visas endast ritningar på tvärbalk, fäste för sugkoppsspindel, stolpe och handtag i bilaga 5 på grund av att dessa är de mest grundläggande för lyftverktyget.



Figur 42. Manöverpanelen med tillhörande symboler.

Fyra lampor kommer att appliceras på manöverpanelen. De kommer att indikera följande:

- Vakuum OK
- Ström till
- Luft till
- Varning

Detta för att tydliggöra och ge feedback för användaren angående den pågående situationen.

Genom att använda en sensor till kättingen, som lyftverktyget sitter upphängd i, måste kättingen vara slak för att vakuumet till sugkopparna ska kunna kopplas från. Detta är en säkerhetsanordning för att last inte ska kunna släppas okontrollerat.

6.1 Utvärdering av resultat

Som produktutvecklare är det viktigt att i slutändan kontrollera huruvida den färdiga produkten lever upp till kravspecifikationen. Många av de krav som sattes upp i början kom från uppdragsgivaren. Sammanfattningsvis kan sägas att alla de krav som definierats har övervägts under utvecklingen och uppskattas kunna uppfyllas på en slutgiltig produkt. Några av kraven har inte kunnat testas då dessa skulle ha utförts med hjälp av en prototyp, något som inte hann färdigställas innan projektets slut. Vissa krav beror även på underleverantör, som exempelvis tiltning, sugkoppar och säkerhetsfunktioner. Här bygger det på att underleverantörernas komponenter håller måttet men med tanke på att dessa krav inte bygger på nyutvecklad teknik drogs slutsatsen att dessa krav med enkelhet skulle kunna gå att uppfylla.

Ett annat krav var att lyftverktyget skulle klara av att lyfta plåtar på upp till 800 kg. Detta var något som kunde uppfyllas men i gengäld kunde inte 40x40 mm profiler användas till stommen, som först var ett önskemål från uppdragsgivaren. Förhoppningarna var att även samtliga önskemål skulle kunna uppfyllas, om det inte krävde för stora åtgärder och ändringar. Även dessa kunde uppfyllas utan större problem med undantag av ett önskemål; AB Furhoffs ville att slangar till pneumatik skulle döljas. Detta valdes slutligen att bortse från då det skulle innebära en hel del ändringar och detaljdesign i konstruktionen samt att det var något som uppdragsgivaren ansåg kunna lösas med andra hjälpmedel, exempelvis buntband.

7 Diskussion

Syftet med examensarbetet var att utveckla ett lyftverktyg för Lars Willebrands produktserie. Huvudproblemet var att bibehålla en ergonomisk arbetsställning när höga och låga lyft genomförs vid användning av en plåtbyrå samt att uppfylla de krav som flesta lyftverktyg måste uppfylla, såsom säker och fungerande användning. Sammanfattningsvis har kraven från kravspecifikationen uppfyllts. Önskemålen har utvecklats i den mån som har varit möjlig, dock påverkar tidsramar utforskningen och avgränsningar har varit nödvändiga.

Ett krav från kravspecifikationen var att lyftverktygets last inte ska kunna släppas utan avsikt. Först var tanken att detta skulle lösas genom ett liknande dödmansgrepp. Detta skulle innebära att användaren skulle behöva använda båda händerna för att koppla till och från vakuum till sugkopparna. Detta skulle minska risken att vakuum kopplas från av misstag. Vid inspektion av AB Furhoffs Rostfrias lyftverktyg fanns dock en bättre lösning. Genom att använda en sensor till kättingen, som lyftverktyget sitter upphängd i, kan tvåhandslösningen tas bort. Sensorn skulle medföra att kättingen måste vara slak för att vakuumet till sugkopparna ska kunna kopplas från. Denna lösning användes på det slutgiltiga lyftverktyget.

Förstudien gav en god grund till hela projektet och kontakten med AB Furhoffs Rostfria har varit väldigt uppskattad. I ett så pass stort projekt som detta märks det hur värdefullt det är att hålla kontakten med människor som kan mycket om sitt område och som också är potentiella användare.

Ergonomidelen hade från början ett stort fokus och har varit en väsentlig del i utvecklingen av flera av lyftverktygets delar. Denna blev framförallt aktuell vid utvecklingen av den ledade armen och manöverpanelen. Vad gäller utvecklingen av den ledade armen har den centrala delen varit att lyft ska kunna utföras på upp till två meters höjd, med bibehållen ergonomisk arbetsställning. Här är det framför allt armbågshöjden för målgruppen som styrt mycket av lyftverktygets konstruktion, bland annat av handtaget och förlängningsbalken till manöverpanelen. Anledningen till att just armbågshöjden styrt är för att det är i den höjd som denna typ av arbete normalt bör ske. Förlängningsbalken har konstruerats så att användaren ska ha händerna i armbågshöjd då lyft sker på den maximala höjden (200 cm). Eventuellt skulle förlängningsbalken kunna konstrueras kortare. Detta skulle medföra att användaren har händerna i en något högre position vid de höga lyften men i gengäld blir lyftverktyget lättare och smidigare att hantera. Detta skulle heller inte påverka de låga lyften eftersom förlängningsbalken då är i ett närmast horisontellt läge. Ergonomiska aspekter som inte reflekterades över är bland annat den frekvens som lyften sker i. Det finns en viss risk att lyft upprepas ett antal gånger vilket därmed utgör en risk för arbetsskada.

Även vad gäller manöverpanelen har ergonomidelen varit närvarande i utvecklingen. Manöverpanelens greppbredd har anpassats för att optimera användandet för 5:e percentilen svensk kvinna till 95:e percentilen svensk man, 18-65 år. Mappningen är logisk vilket kan påvisas utifrån resultatet från användarstudien för symbolerna. Det hade eventuellt kunnat utvärderas vidare hur synliga och ljudliga signaler hade kunnat utnyttjas till att ge feedback åt användaren. I nuläget kommer fyra lampor med olika funktioner att användas på lyftverktygets manöverpanel vilket är en god början på kommunikationen mellan människa-maskin.

Vinkeln på manöverpanelen ger vissa fördelar och är en god kompromiss för att manöverpanelen inte ska bli för stor samtidigt som den maximala greppbredden bör vara väl tilltagen för i stort sett samtliga användare. Något som däremot skulle kunna ses över är huruvida handlederna påverkas av att arbeta i just den vinkeln. När projektet utfördes kunde inte information om detta hittas vilket ledde till att användarstudien fick styra en hel del.

Användarstudierna för prefererad greppbredd samt symbolanvändning var en del i projektet som bidrog med mycket användbar information. Tanken var att en prototyp skulle tillverkas, vilket hade varit värdefullt för att utvärdera tillsammans med potentiella användare, dock var detta något som drog ut på tiden. Detta får därmed skickas vidare som rekommenderat vidare arbete.

Förhoppningsvis kommer det slutgiltiga lyftverktyget att ingå i Lars Willebrands produktserie inom en snar framtid efter ytterligare tester och bli uppskattad av användare för dess ergonomiska utformning och smidiga användning.

7.1 Alternativa metoder

Under konceptgenereringen (kapitel 3) låg det fokus på att snabbt få igång alla deltagare och endast genomföra metoder som var kända sedan tidigare. Eftersom samtliga ingenjörer har examen från Högskolan i Skövde valdes metoder som hade anknytning till dessa studier och som alla deltagare hade kunskap om. Lika gärna som beprövade metoder kunde jämställa gruppen, lika gärna hade nya metoder som nästintill var okända för alla kunnat fungera. Exempel på möjliga kreativitetsmetoder som hade kunnat användas är *Synectics* och *Borttagning av mentala blockeringar*.

Synectics: Målet med denna metod är att omvandla den spontana aktiviteten i hjärnan och nervsystemet till att undersöka och omvandla konstruktionsproblem (Jones, 1992). En grupp av människor samlas för att verka som en oberoende utvecklingsavdelning. Denna grupp tränas i att använda sig av analogier för att rikta den spontana aktiviteten i hjärnan och nervsystemet till problemet och enligt Jones (1992) kan fyra stycken analogier användas; direkt analogi, personlig analogi, symbolisk analogi och fantasianalogi.

Jones (1992) menar vidare att med hjälp av varje persons tilldelade analogi kan räckvidden utökas och en mer fokuserad brainstorming genomföras. En person utses till ordförande som kan anteckna, ställa frågor och hålla sessionen under kontroll samt undvika negativa kontringar.

Borttagning av mentala blockeringar: Målet med denna metod är att hitta nya riktningar att utforska när det uppenbara sökområdet inte har gett någon acceptabel lösning (Jones, 1992). Tre olika kategorier kan användas inom denna metod där de mentala blockeringarna ska försöka tas bort; **Omvandlingsregler** som kan appliceras på existerande lösning som inte är satisfierande, **Sökande efter nya samband** mellan delar av existerande lösning som inte är satisfierande, **Omvärdering** av designsituationen (Jones, 1992).

Metoderna ovan skulle ha kunnat generera andra idéer än de koncept som tidigare presenterades, dock kan aldrig detta påvisas och uppdragsgivaren är väldigt nöjd med det slutgiltiga resultatet. Anledningen till att endast 6-3-5 metoden och morfologisk tabell användes under projektets konceptgenerering var på grund av att de förslag på lösningar som togs fram ansågs, av uppdragsgivaren och AB Furhoffs Rostfria, vara så pass måluppfyllande att fokus lades på vidareutveckling och detaljformgivning istället för vidare konceptgenerering.

7.2 Rekommendationer för vidare arbete

Lars Willebrands mål är att komplettera sin produktserie och tillverka lyftverktyget tillsammans med övriga lyftutrustningen. Om arbetet hade sträckt sig över en längre tidsperiod hade djupare efterforskning gjorts över plungelåset. Under ett återbesök hos AB Furhoffs Rostfria framkom idéer om hur deras gängmaskiner skulle kunna ge inspiration till en förbättrad lösning. Gängmaskinerna, från företaget PowerTools, har en speciell arm som användaren kan manövrera i en ände varvid resten av armen följer med i den rörelsen. Med hjälp av en skruv vid gängmaskinen (se figur 43) kan användaren justera hur trögt lederna ska kunna röras. Detta skulle möjligen kunna ersätta plungelås där fördelarna hade blivit färre knappar och automatisk manövrering.

Figur 43. Gängarmar som inspirerade hur lederna skulle kunna fungera (Powertools, 2013).

När det gäller tiltfunktionen applicerades en pneumatisk cylinder i mitten på lyftverktyget. Detta bör utvärderas vidare på en eventuell prototyp. Det finns möjlighet att använda ytterligare en cylinder ifall endast en cylinder inte är tillräcklig för det material som ska lyftas. Typ, storlek och kapacitet av pneumatisk cylinder bör utväderas så att den passar kundens behov.

Problemet med att lyfta endast en skiva i taget skulle kunna lösas med hjälp av en fästplåt med asymmetriskt placerat hål vilket är beskrivet tidigare. Detta borde först testas på en prototyp för att se om idén fungerar i verkligheten. Om det inte fungerar bör utvecklingen av olika nivåer på sugkoppsparen återupptas.

Justeringsfunktionen för sugkopparnas position medför ett litet problem. I och med det frästa spåret i tvärarmens profil kan de justeras steglöst. Detta i sin tur kan innebära att de två tvärarmarna kan placeras på olika avstånd från lyftverktygets mitt. Om dessa inte sitter på samma avstånd skulle en viss obalans i lyftverktyget kunna uppstå. En lösning på problemet har diskuterats. Eventuellt skulle någon slags skala eller markeringar appliceras på lyftverktyget. Dessa skulle då underlätta för användaren så att tvärarmarna kan placeras på samma avstånd och inte bidrar till att lyftverktyget blir obalanserat.

Referenser

Abeja (2013) *Sugkopp*. Tillgänglig på Internet: http://www.abeja.se/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=131&Itemid=134 [Hämtad 2013-12-20]

Abus kransystem (2013a) *Travers.* Tillgänglig på Internet: http://www.abus-kransystem.se/var/abus/storage/original/application/66a65d6c189c01af6e34c1103f41c899.pdf [Hämtad 2013-12-19]

Abus kransystem (2013b) *Svängkran.* Tillgänglig på Internet: http://www.abus-kransystem.se/var/abus/storage/original/application/e2002cd0c61480096e15c1326d0a5fa1.pdf [Hämtad 2013-12-19]

Abus kransystem (2014) *Manöverdon.* Tillgänglig på Internet: http://www.abus-kransystem.se/Produkter/Komponenter_Tillbehoer/Tillbehoer/Radiostyrning [Hämtad 2014-01-03]

Arbetsmiljöverket (2006) *Användning av lyftanordningar och lyftredskap.* Tillgänglig på Internet: http://www.av.se/dokument/afs/ursprungs/ursprungsAFS2006_06.pdf [Hämtad 2014-01-06]

Atlas Tube (2012) *Advantages of Hollow Structural Sections* Tillgänglig på Internet: http://www.atlastube.com/images/download/13-JMC-0701_Engineering-Advantages-of-HSS-flyer_v3.pdf [Hämtad 2014-01-09]

BE Group (2014) *Prislista.* Tillgänglig på Internet: http://www.begroup.com/upload/Sweden/Prislistor/St%c3%a5l/Prislista%20st%c3%a5l,%20specialst%c3%a5l,%20r%c3%b6r%202014-01-02.pdf [Hämtad 2014-01-03]

Blomgren, B. (1997) *Förändring med kvalitet.* Stockholm: Spri.

Bridger, R. S. (2009) *Introduction to Ergonomics* (4:e upplagan). Boca Raton: CRC Press.

Cacha, C. A. (1999) *Ergonomics and safety in hand tool design.* Boca Raton: CRC Press LLC.

Cross, N. (2008) *Engineering design methods: strategies for product design* (4:e upplagan). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

Das, B. & Sengupta, A. K. (1996) Industrial workstation design: A systematic ergonomics approach. *Applied Ergonomics, 27,* 157-163.

Delleman, N. J., Haslegrave, C. M., & Chaffin, D. B. (2004) *Working postures and movements; tools for evaluation and engineering.* Boca Raton: CRC Press.

Dematek (2014) *Manöverdon.* Tillgänglig på Internet: http://www.dematek.se/produkter/radio-manoverdon [Hämtad 2014-01-03]

Festo (2014) *Pneumatiska cylindrar.* Tillgänglig på Internet: http://www.festo.com/cat/sv_se/products_010100 [Hämtad 2014-01-08]

Feyen, R. (2000) Computer-aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design. *Applied ergonomics, 31,* 291-300.

Gyi, D. E., Porter, J. M. & Case, K. (2000) Design Practice and 'Designing for All'. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 44,* 913-916.

Holmström, E., Eklundh, M. & Ohlsson, K. (1999) *Människan i arbetslivet – teori och praktik.*

Lund: Studentlitteratur.

HT Lyftsystem (2013) *VacuHand.* Tillgänglig på Internet: http://lyftsystem.se/pdf/HT_VacuHand.pdf [Hämtad 2013-11-26]

Jack 7.1 (Version 7.1) (2011) [Datorprogram] Plano: Siemens PLM Software.

Jones, J. C. (1992) *Design methods.* New York: Van Nostrand Reinhold.

Lidwell, W., Holden, K. & Butler, J. (2003) *Universal principles of design*. Gloucester: Rockport Publishers.

Lifts All (2013) *ProWood 2453.* Tillgänglig på Internet: http://www.liftsall.com/Page376.aspx [Hämtad 2013-11-12]

McCauiey Bush, P. (2012) *Ergonomics; foundational principles, applications, and technologies.* Boca Raton: CRC Press.

Norman, D. A. (2002) *The design of everyday things.* New York: Basic Books.

Olsson, F. (1995) *Principkonstruktion.* Opublicerat manuskript. Institutionen för Maskinkonstruktion, Lunds Tekniska Högskola.

Osborn, A. F. (1963) *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem-solving.* New York: Charles Scribner's Sons.

PeopleSize (Version 2.02) (2008) [Datorprogram] Leicestershire: Open Ergonomics Ltd

PMH (2013) *Platerack Plåtbyrå*. Tillgänglig på Internet: http://www.pmh.se/platbyra/platerack-platbyra [Hämtad 2013-11-06]

Powertools (2013) *Gängmaskin.* Tillgänglig på Internet: http://www.powertools.se/wp-content/uploads/0709Powertools_SL_Balance_web_11.pdf [Hämtad 2013-11-27]

PubMed (2003) *Optimum tool handle diameter*. Tillgänglig på Internet: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14605652 [Hämtad 2014-01-10]

Rolf Lövgren (2009) *FMEA.* Tillgänglig på Internet: http://rolflovgren.se/RL-MDH/Kurser/KPP017/Grp%206%20-%20FMEA.pdf [Hämtad 2013-12-20]

Rose, L. M., Orrenius, U. E. & Neumann, W. P. (2013) Work Environment and the Bottom Line: Survey of Tools Relating Work Environment to Business Results. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing & Service Industries, 23,* 368-381.

Skepper, N., Straker, L. & Pollock, C. (2000) A case study of the use of ergonomics information in a heavy engineering design process. *International Journal of Industrial Ergonomics, 26*, 425-435.

Sundström, B. (2008) *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära* (6:e upplagan) Stockholm: E-PRINT AB.

TAWI (2013) *TAWIGrip Lyftverktyg*. Tillgänglig på Internet: http://www.manipulatorer.se/docs/TAWIGrip%20SE.pdf [Hämtad 2013-11-06]

TAWI (2011) *Manöverdon.* Tillgänglig på Internet: http://www.vacuumlifter.eu/docs/VacuCobra%20GB.pdf [Hämtad 2014-01-03]

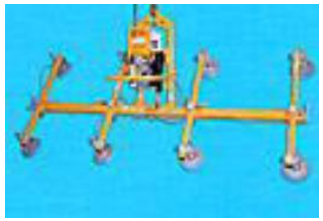
Tibnor (2011) *Konstruktionstabeller* Tillgänglig på Internet: http://www.e-magin.se/v5/viewer/files/viewer_s.aspx?gKey=ndrj52ff&gInitPage=1 [Hämtad 2014-01-09]

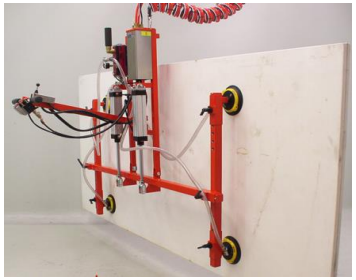
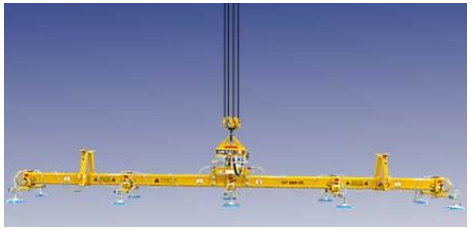
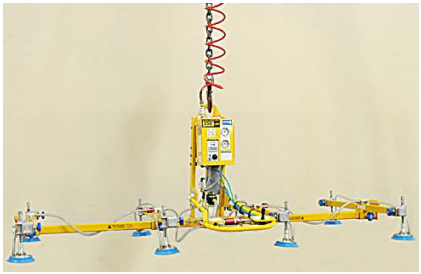
Tonnquist, B. (2010) *Projektledning*. Stockholm: Bonnier Utbildning.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2008) *Product design and development* (4:e upplagan). New York: McGraw-Hill

Wright, I. C. (1998) *Design methods in engineering and product design*. Berkshire: McGraw-Hill Publishing Company.

Bilaga 1. Konkurrenters lyftverktyg

Lyftverktyg			
Tillverkare/återförsäljare	TAWI	Abeja	HT Lyftsystem
Modell	Vacumyggan		
Lyft för låga/höga höjder	Ja, men inte optimalt	Osäkert, kort handtag	Nej
Antal möjliga sugkoppar	8	8	6
Justerbara armar	Ja	Ja	Ja
Justerbart handtag	Ja	Nej	Nej
Tiltfunktion	Ja	Ja	Ja, verkar vara manuell
Övrigt	Tvåhandsgrepp för släppfunktion		Annorlunda lyftsystem
Positivt	Backventil, flera greppunkter på handtaget		Företaget använder intressanta handtag
Negativt	Dålig räckvidd på handtag	Endast för större skivor	Slangarna är i vägen, maxvikt 140 kg, korta handtag

Lyftverktyg			
Tillverkare/återförsäljare	Lifts All	Autoluft (Spektrakon)	Anver
Modell	ProWood 2453	Vacuumlyft 6 sugkoppar	ATL25M8-96-4/44
Lyft för låga/höga höjder	Ja för låga, tveksamt för höga	Nej	Nej
Antal möjliga sugkoppar	4	6	8
Justerbara armar	Ja, i breddled och längsled, fasta lägen	Ja	Ja
Justerbart handtag	Ja	Ja	Nej
Tiltfunktion	Ja	Ja	Ja
Övrigt	Ledat handtag	Flera greppunkter	Har en otrolig mängd olika lyftverktyg för olika ändamål
Positivt	Intressant handtag och övriga funktioner	Klarar 1364 kg	Relativt ren design
Negativt	Antal sugkoppar	Dålig räckvidd på handtag, Handtaget känns inte greppvänligt	Lyfter endast upp till 250 pounds, 113 kg.

Bilaga 2. Undersökning av symboler

VILKEN SYMBOL TYCKER DU HÖR TILL RÄTT FUNKTION PÅ LYFTVERKTYGET?

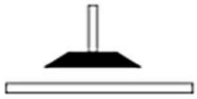
1. FÄSTA SUGKOPPAR PÅ PLÅT? .....
2. LOSSA SUGKOPPAR FRÅN PLÅT? .....
3. TILTA PLÅT TILL VERTIKALT LÄGE? .....
4. TILTA PLÅT TILL HORISONTELLT LÄGE? .....
5. HÖJA LYFTVERKTYG? .....
6. SÄNKA LYFTVERKTYG? .....
7. LÅSA FAST JUSTERING FÖR HANDTAG? .....
8. LÅSA UPP JUSTERING FÖR HANDTAG? .....

A.

B.

C.

D.

E. 

F.

G.

H.

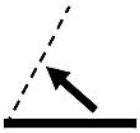
Bilaga 3. Undersökning av symboler för tiltfunktion

VILKEN SYMBOL SKULLE DU VÄLJA FÖR ATT TILTA PLÅTEN:

1. FRÅN HORISONTELLT LÄGE TILL VERTIKALT LÄGE? .....

2. FRÅN VERTIKALT LÄGE TILL HORISONTELLT LÄGE? .....

A.

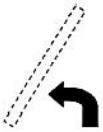
B. 

C.

D.

E.

F.

G. 

H.

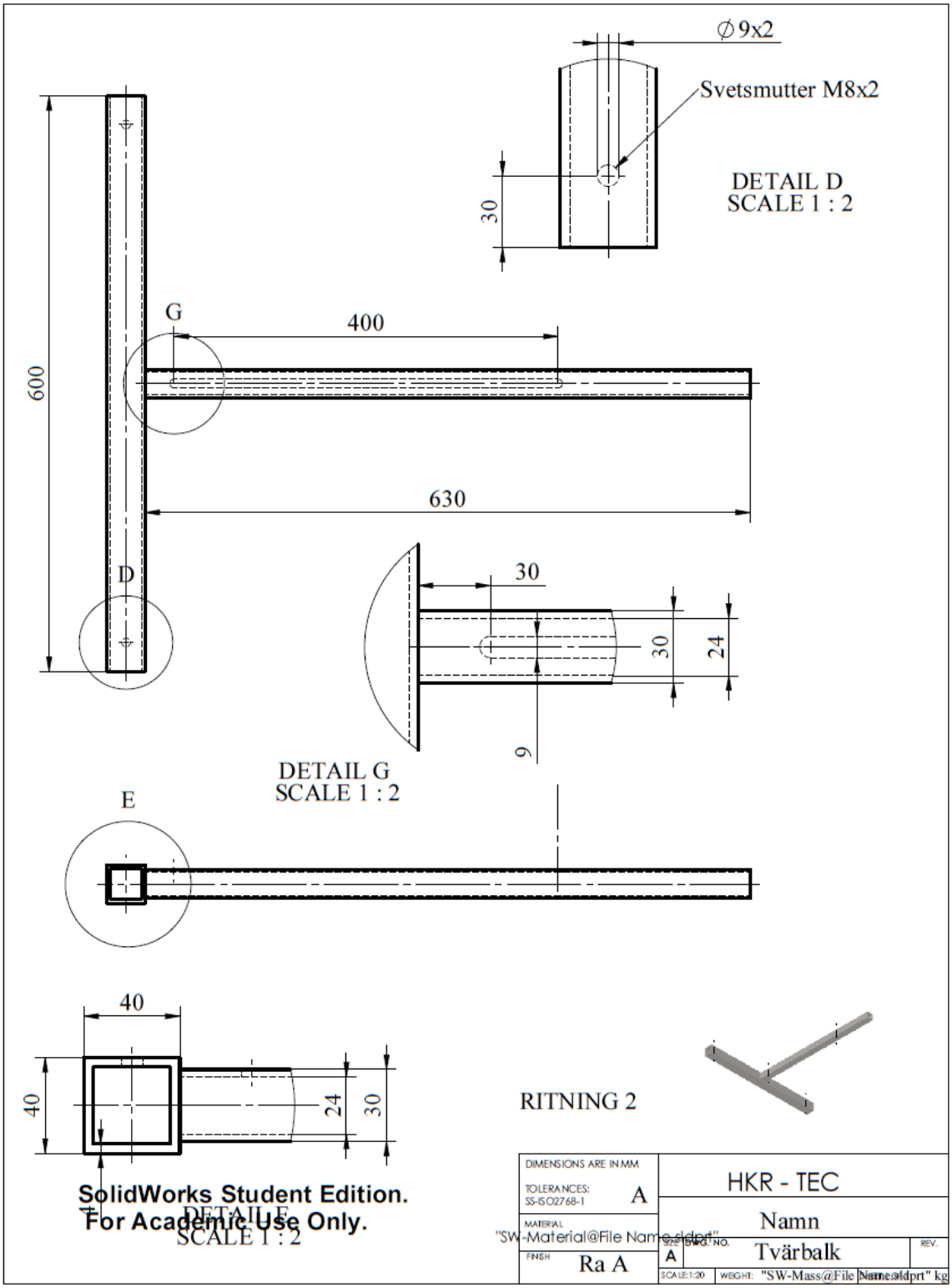
I.

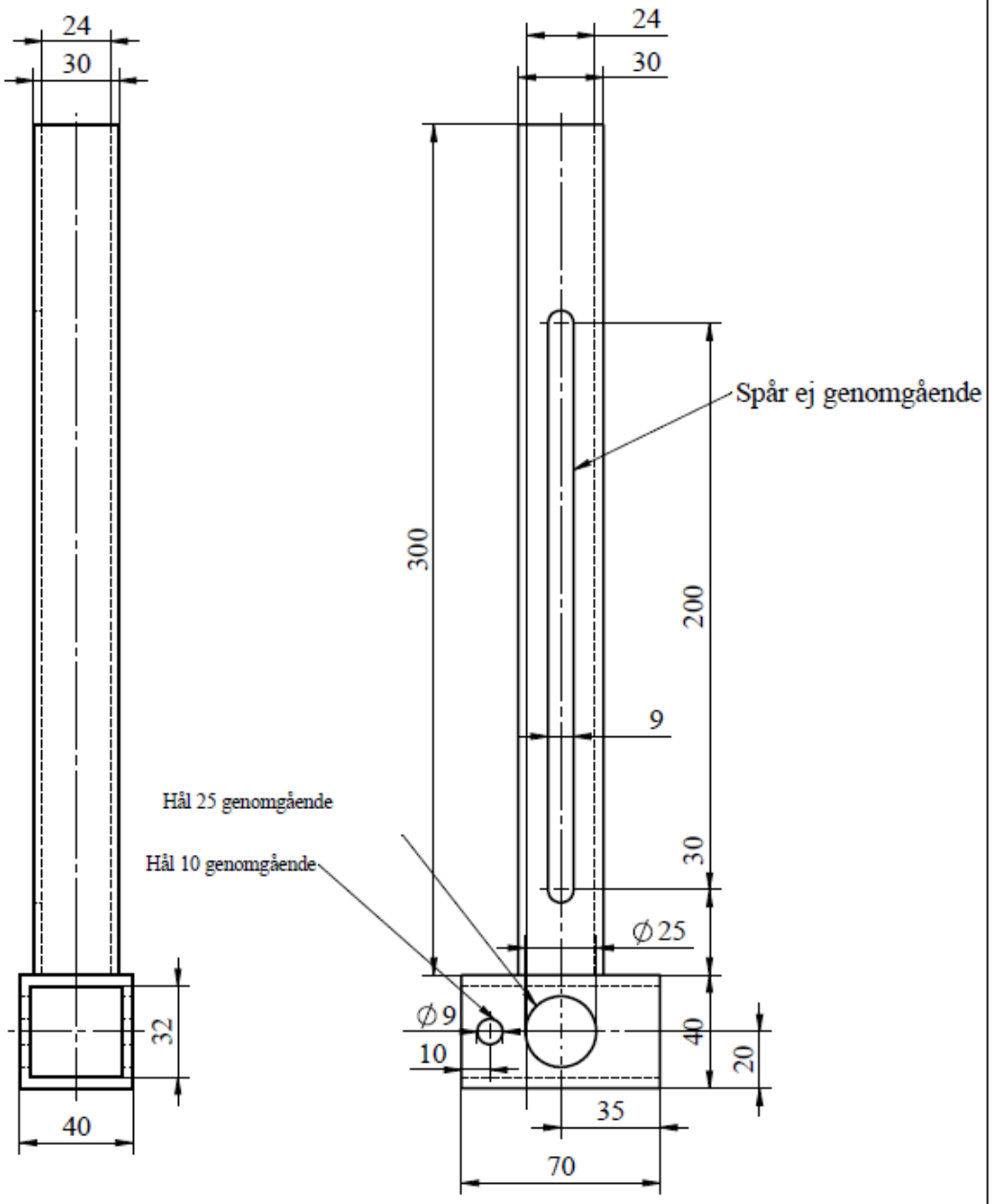
Bilaga 4. FMEA

Nr	Komponent/ operation/ huvudfunktion	Funktion	Felsätt	Feleffekt	Felorsak	Frekvens	Allvarlighets-grad	Upptäcks-sannolikhet	Risktal	Rekommenderade åtgärder	Frekvens	Allvarlighets-grad	Upptäcks-sannolikhet	Risktal
1	Ström	Försörja lyftverktyg med elektricitet	Strömmen till lyftverktyget stängs av	Lyftverktyget blir oanvändbart/plåten släpper	Åsknedslag/någon snubblar på en kabel	3	10	10	300	Backventil på sugkoppar (plåten släpper inte direkt)	3	8	2	48
2	Tvärarmar	Fästa sugkoppar/ justera bredd på lyftok	Skruvar sitter löst eller saknas	Tvärarmarna sitter löst och kan bidra till oförutsägbara rörelser	Skruvar slits ut/ glömmer sättas fast	4	5	5	100	Inga åtgärder/ta bort justeringsfunktion/förenkla				
3	Manöverpanel	Styra lyftverktygets funktioner	"Vakuum från"-knapp trycks in med last	Vakuum kopplas från och plåten lossnar från sugkopparna	Mänskliga faktorn/missvisande knappar	6	10	10	600	Hålla knapp intryckt längre, sensor på kätting, bättre design på knappar	4	1	10	40
3	Nödstopp	Stänga av strömmen om något går fel	Strömmen till lyftverktyget stängs av	Lyftverktyget blir oanvändbart/ plåten släpper	Nödstoppet trycks in av misstag	2	10	10	200	Backventil på sugkoppar (plåten släpper inte direkt)	2	8	2	32
4	Sugkoppar	Hålla fast plåt	Otillräcklig lyftförmåga hos sugkopparna	Plåten kan lossna	Sugkoppar slits ut (sprickor)	5	5	2	50	Regelbunden kontroll, kontrollampa som signalerar när vakuum är OK	3	1	1	3
6	Låsfunktion på armen	Låser den ledade armen	Låsfunktionen är ur funktion	Armens position går inte att justera	Slitage och/eller pneumatik ur funktion	3	5	3	45	Ingen åtgärd/ kontrollera låsfunktion				
7	Tilt	Tilta plåten vertikalt	Lyftoket tiltas med för tung last	Plåten lossnar från sugkopparna	Mänskliga faktorn/otillräcklig kunskap	3	10	7	210	Sensor, byte av cylinder	3	6	4	72
8	Lyftok	Lyfta plåtar/ skivformade produkter	Lyftoket lyfts med för tung last	Plåten lossnar från sugkopparna	Mänskliga faktorn/ otillräcklig kunskap/ svag konstruktion	4	7	5	140	Sensorer som signalerar vid tung last	4	7	1	28

Kriteria för bedömning av felintensitet	Frekvens	Värdering	Kriteria för bedömning av allvarlighetsgrad	Värdering	Kriteria för bedömning av upptäcktssannolikhet	Värdering
Osannolikt att fel kan uppträda	<1/100000	1	Ingen olycksrisk eller inverkan på produkten	1	Fel som alltid uppmärksammas	1
Mycket liten sannolikhet för fel	<1/10000	2-3	Ingen olycksrisk eller inverkan på produkten men intakt funktion	2-3	Normal sannolikhet för upptäckt	2-4
Låg sannolikhet för fel	<1/1000	4-5	Mycket liten olycksrisk eller risk för störd funktion	4-6	Viss sannolikhet för upptäckt	5-7
Viss sannolikhet för fel	<1/100	6-7	Olycksrisk under speciella omständigheter eller utebliven funktion	7-9	Liten sannolikhet för upptäckt	8-9
Hög sannolikhet för fel	<1/10	8-9	Allvarlig risk för personskada	10	Osannolikt att fel upptäcks	10
Mycket hög sannolikhet för fel	<1/1	10				

Bilaga 5. Ritningar

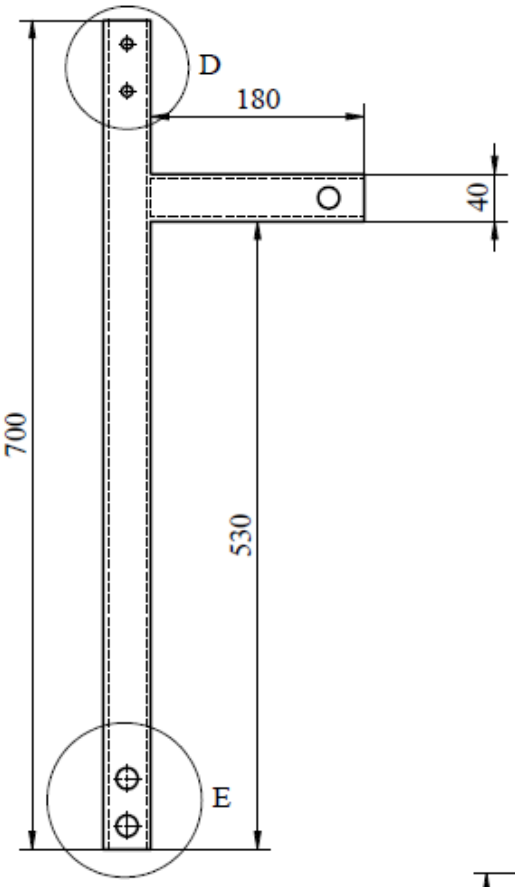


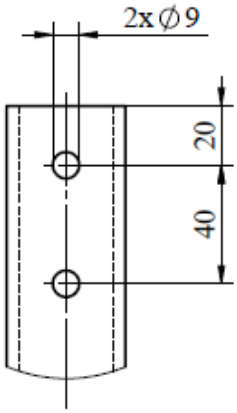


RITNING 3

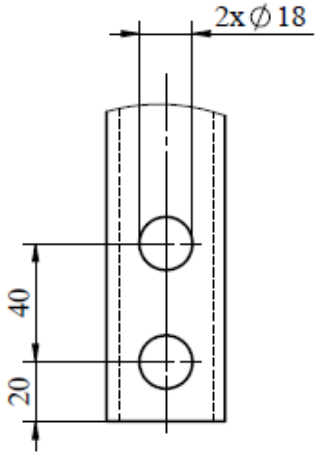
SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.

DIMENSIONS ARE IN MM		HKR - TEC
TOLERANCES: SS-ISO2768-1	A	Namn
MATERIAL "SW-Material@File Name.sldprt"		
FINISH Ra A	A	Fäste_sugkoppsspindel
	SCALE:1:5	WEIGHT: "SW-Mass@File Name.sldprt" kg





DETAIL D
SCALE 1 : 2

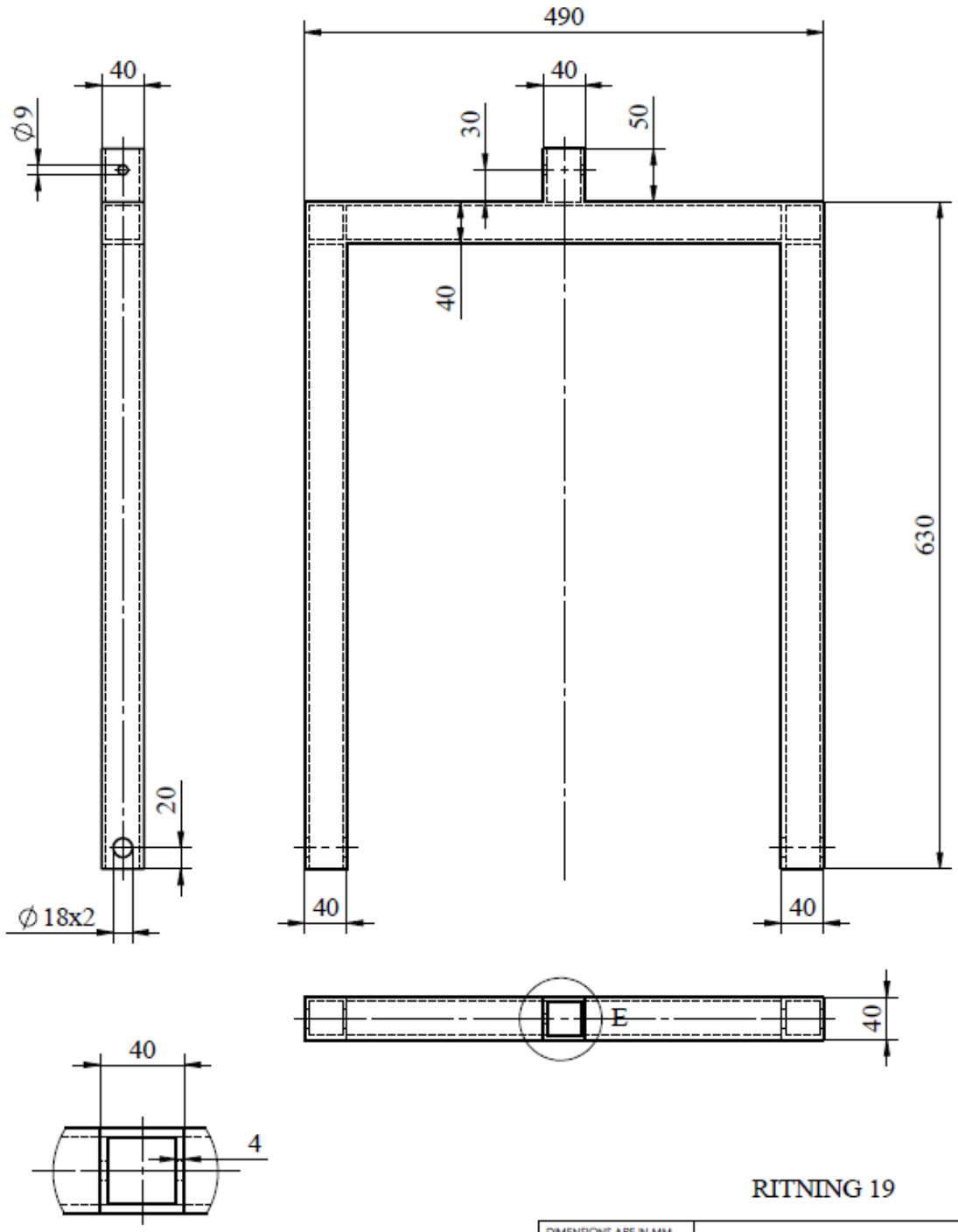


DETAIL E
SCALE 1 : 2

RITNING 10

SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.

DIMENSIONS ARE IN MM TOLERANCES: SS-ISO2768-1 A	HKR - TEC
MATERIAL "SW-Material@File Name.sldprt"	Namn
FINISH Ra A	SIZE A / DWG NO. Stolpe / REV.
	SCALE:1:10 / WEIGHT: "SW-Mass@File Name.sldprt" kg



RITNING 19

SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.

DIMENSIONS ARE IN MM		HKR - TEC
TOLERANCES: SS-ISO2768-1	A	Namn
MATERIAL "SW-Material@File Name.sldprt"		
FINISH Ra A	SIZE A	DWG. NO. 19 REV.
	SCALE:1:10	WEIGHT: "SW-Mass@File Name.sldprt" kg