



CHALMERS

Maskinsäkerhet för kollaborativa robotstationer

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och Produktionsteknik

VICTOR BRUCE & JOHAN STRÖMFELDT

Rapport nr. E2019:109

Maskinsäkerhet för kollaborativa robotstationer

Victor Bruce

Johan Strömfeldt

Handledare: Carl Sjöberger

Examinator: Carl Sjöberger

Institutionen för teknikens ekonomi och organisation
Avdelningen Innovation and R&D Management
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2019

Maskinsäkerhet för kollaborativa robotstationer
Victor Bruce
Johan Strömfeldt

© Victor Bruce & Johan Strömfeldt, Sverige, 2019

Examensarbete E2019:109

Institutionen för teknikens ekonomi och organisation
Avdelningen Innovation and R&D Management

Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Chalmers digitaltryck
Göteborg, Sverige 2019

Förord

Det här examensarbetet, omfattande 15 högskolepoäng, genomfördes på högskoleprogrammet Ekonomi och produktionsteknik vid Chalmers tekniska högskola under vårterminen år 2019. Studien har genomförts i projektet Smarta Fabriker hos Göteborgs Tekniska College.

Vi vill ge ett stort tack till Virtual Manufacturing och vår handledare på företaget Gustav Svensson för att vi fick chansen att skriva vårt arbete hos er och för att ni delgivit oss er kunskap.

Även ett stort tack till Johannes Persson och Johan Bengtsson på Göteborgs Tekniska College för ert stöd. Ni har varit mycket hjälpsamma och utan ert engagemang hade arbetet aldrig kunnat slutföras.

Ett speciellt tack till vår handledare och examinerator Carl Sjöberger för ditt stöd i vårt arbete. Dina goda råd och ditt stöd ledde arbetet i rätt riktning.

Vidare vill vi även tacka alla som vi på något sätt kommit i kontakt med under den här studien. Vi har blivit mottagna med intresse och hjälpsamhet av samtliga inblandade.

Johan Strömfeldt & Victor Bruce

Göteborg, maj 2019

Sammanfattning

Studien har genomförts på Göteborgs Tekniska College och deras projekt Smarta Fabriker där de vill sprida kunskap och kompetens inom industriell digitalisering. En monteringsfabrik är under framtagning innehållande en robot. Hela applikationen är tillverkad för nära samarbete mellan robot och operatör på ett sätt vilket gör att den kan benämnas som kollaborativ. Kollaborativa samarbeten och dess innebörd förklaras närmare i studien.

Stationen tillverkas i syfte att visa exempel på de möjligheter som finns med kollaborativa samarbeten och den bakomliggande tekniken. Maskinsäkerheten är en viktig aspekt att ta hänsyn till och därför önskar de att genomföra en riskbedömning för stationen.

Det utformas även en mall för tillvägagångssätt att CE-märka kollaborativa robotapplikationer generellt. En CE-märkning innebär främst att tillverkaren intygar att stationen är säker att använda och riskbedömningen är en viktig del i processen.

Studien avgränsar sig från juridiskt ansvar vid eventuell CE-märkning av stationen. Studien arbetar heller inte med konstruktionen av stationen, utan syftar snarare till att ge rekommendationer utifrån ett maskinsäkerhetsperspektiv.

Resultaten från studien innefattar en mall för tillvägagångssätt och viktiga aspekter att ha i åtanke när en kollaborativ robotstation ska CE-märkas, såsom en noggrann riskbedömning och att typen av applikation styr omfattningen och arbetsprocessen.

Riskbedömningen i fallstudien resulterade i 32 identifierade risker, där flera innehåller genomförda eller rekommenderade reduktionsåtgärder. Ett exempel på en reduktionsåtgärd vilken infördes efter rekommendationer är plexiglas på stationens sida och baksida för att skärma in användningsområdet och därmed konstruerades flera risker bort.

Nyckelord: kollaborativa robotar, maskinsäkerhet, CE-märkning, riskbedömning

Abstract

This study has been carried out at Gothenburg Technical College and their project Smarta Fabriker where they want to spread knowledge and competence about industrial digitalization. An assembly plant is being produced containing a robot. The application is constructed for close cooperation between robot and operator in a way that can be described as collaborative. Collaborative cooperations and its significance is explained more in detail in the study.

The station was manufactured to show examples of the possibilities with collaborative cooperations and the techniques behind it. Machine safety is an important aspect to take into consideration and that is why they wish to conduct a risk assessment for the station.

A template is also made about the procedure to CE mark collaborative robot applications generally. A CE mark mainly means that the manufacturer certifies that the station is safe to use, and the risk assessment is a crucial part of the process.

The study separates itself from legal responsibility in the event of a CE marking of the station. The study also does not work with the construction of the station, but rather aims to give recommendations from a machine safety perspective.

The results from the study include a template about the procedure and crucial aspects to consider when a collaborative robot station is to be CE marked, such as a meticulous risk assessment and that the type of application controls the scope and working process.

The risk assessment in the case study resulted in 32 identified hazards, where several contain implemented or recommended reduction measures. An example of a reduction measure that was introduced after recommendations was plexiglass on the side and the back of the station to limit the area of use and thereby several hazards avoided due to the reconstruction.

Keywords: collaborative robots, machine safety, CE marking, risk assessment

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Syfte	2
1.2 Avgränsningar	2
1.3 Precisering av frågeställning	2
2. Metod.....	3
2.1 Fallstudie	3
2.2 Datainsamlingsmetodik.....	3
2.2.1 Litteraturstudie.....	4
2.2.2 Dokumentinsamling.....	4
2.2.3 Intervjuer	4
2.3 Riskbedömning.....	5
2.3.1 Filmning av arbetsprocess	5
2.3.2 Bedömning av risker.....	5
2.3.3 Kraftmätning.....	8
2.4 Flödesschema	9
2.5 Validitet och reliabilitet.....	9
3. Teori.....	10
3.1 Kollaborativa robotar	10
3.1.1 Olika nivåer på kollaboration	10
3.1.2 Kollaborativ robot i jämförelse med traditionell robot.....	11
3.1.3 Exempel på kollaborativa robotapplikationer.....	11
3.1.4 Teknik inom området.....	12
3.1.5 Psykologiska effekter av robotsamarbeten	13
3.2 CE-märkning	13
3.3 Direktiv.....	15
3.3.1 Maskinsäkerhet och Maskindirektivet.....	15
3.3.2 Vad säger Maskindirektivet?	15
3.3.3 Lågspänningsdirektivet.....	17
3.3.4 Direktivet om elektromagnetisk kompatibilitet	18
3.4 Standarder.....	18
3.4.1 Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010).....	20

3.4.2 Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotsystem och integration (ISO 10218-2:2011)	22
3.4.3 Robotar och robotutrustning - Samverkande robotar (ISO/TS 15066:2016, IDT) ..	25
3.5 Riskbedömning.....	26
3.5.1 Riskbedömningsmetoder	27
4. Fallbeskrivning	30
4.1 Ingående komponenter	30
4.1.1 YuMi.....	30
4.1.2 Skruvdragare.....	31
4.1.3 Kompressor.....	31
4.1.4 Vision/sensorer	31
4.1.5 Skärm.....	32
4.2 Materialtillförsel.....	32
4.3 Produkten	33
4.4 Arbetsprocessbeskrivning	34
5. Resultat	35
5.1 Riskbedömning.....	35
5.1.1 Resultat från kraftmätningen	38
5.2 Mall för tillvägagångssätt för CE-märkning av kollaborativa robotapplikationer	40
6. Diskussion	45
6.1 Diskussion utifrån frågeställningarna.....	45
6.2 Metodanalys	47
7. Slutsats.....	48
Referenser	49

1. Inledning

Mellan åren 1990 till 2010 ökade produktionen med 150 % i världen (Marsh, 2012). Samtidigt ställer kunder ett ökat krav på specialanpassning av produkter vilket gör att produktmixen för de tillverkande företagen ökar. Det ställer ökade förväntningar på producenter, både att de kan hantera den ökande produktvariationen, samt att de kan ställa om tillverkningen snabbt och utan dröjsmål. Industrirobotar medför en produktivitetsökning samt att de tar över hälsovådliga, monotona arbetsuppgifter och Sverige är ett av de länder som har flest industrirobotar per industriarbetare (NyTeknik, 2018).

Patentet för den första industriroboten ansöktes 1954 av George C. Devol (Nof, 1999). Roboten kallades UNIMATE 2000 och användes på pressgjutningsmaskiner inom bilindustrin. Robotutvecklingen har sedan dess kommit lång väg och robotar har i dagsläget fått ett stort antal användningsområden inom industrin. Ett problem med traditionella robotar är att det har varit olönsamt för företag att automatisera produktionsprocesser i låg- och mellanstorlek på produktvolym. Kollaborativa robotar är avsedda att lösa det problemet.

Även om teknologin för människa-robotsamspel finns i hög utsträckning idag har den inte spridit sig nämnvärt i dagens industri ännu. Ett flertal lyckade projekt med kollaborativa robotstationer finns men där det egentligen är en väldigt begränsad interaktion mellan operatörerna och roboten (Cole, 2017; Veloso, Biswas, Coltin, & Stephanie, 2015; Michalos, o.a., 2015). Anledningen kan vara en relativt snårig och svårtolkad reglering omkring hur samarbetet får se ut, där människans säkerhet är det viktigaste kriteriet vilket måste bli uppfyllt.

Göteborgs Tekniska College (GTC) har genom projektet Smarta Fabriker mål att sprida kompetens och kunskap inom industriell digitalisering (Göteborgs Tekniska College, 2019). Härigenom är en monteringsfabrik under framtagning och utveckling, innehållande en kollaborativ robot och stationen är speciellt framtagen för kollaborativa samarbeten.

Stationen tillverkas i informativt syfte för att visa upp tekniken bakom kollaborativa samarbeten och de möjligheter det medför. Maskinsäkerheten är en viktig del i tillverkningen för att kunna säkerställa att stationen är säker att använda och därför vill Göteborgs Tekniska College genomföra de steg som krävs för att kunna CE-märka applikationen.

I studien genomförs en riskbedömning på en kollaborativ robotapplikation och därefter framställs en mall för CE-märkning av kollaborativa robotapplikationer generellt. I en CE-märkning tar ägaren ansvar för att certifieringen har skett på ett korrekt vis gentemot de direktiv som finns, vilka i detta fall är bland annat *Maskindirektivet* och harmoniserade standarder, och att de grundläggande hälso-, säkerhets- och miljökraven framtagna av EU uppfylls. Då det inte finns en ISO-standard ännu för just kollaborativa robotar utan en teknisk specifikation, krävs det en genomgående informationssökning och analys för att få ihop nödvändigt underlag (International Organization for Standardization, 2019).

1.1 Syfte

Syftet med den här rapporten är att undersöka vad som krävs för att CE-märka en kollaborativ robotapplikation samt genomföra en utförlig riskbedömning på en befintlig robotapplikation.

1.2 Avgränsningar

En del i CE-märkningen av en produkt är att ta fram teknisk dokumentation och då det är material tillverkaren besitter ingår det ej i rapportens syfte att samla ihop den nödvändiga dokumentationen. Uppdraget består däremot i att utreda vilken teknisk dokumentation de olika direktiven specificerar som nödvändiga.

Eventuell kontakt och ansökan angående CE-märkning till olika kontrollorgan tillhör ej rapportens syfte, utan handlar endast om att ta fram tillräckligt med underlag för en eventuell ansökan.

Studiens syfte är att utföra en riskbedömning men ej att utföra de riskreduktionsåtgärder vilka identifieras som nödvändiga. Dessa reduktionsåtgärder är endast rekommendationer från studiens sida.

Funktionssäkerheten hos kontrollsystem vilka använder elektronik, pneumatik, hydraulik eller mjukvara ska uppnå PL=d om inte riskbedömningen visar att andra kriterier är tillämpliga. På grund av studiens omfattning har däremot PL-nivån ej verifierats.

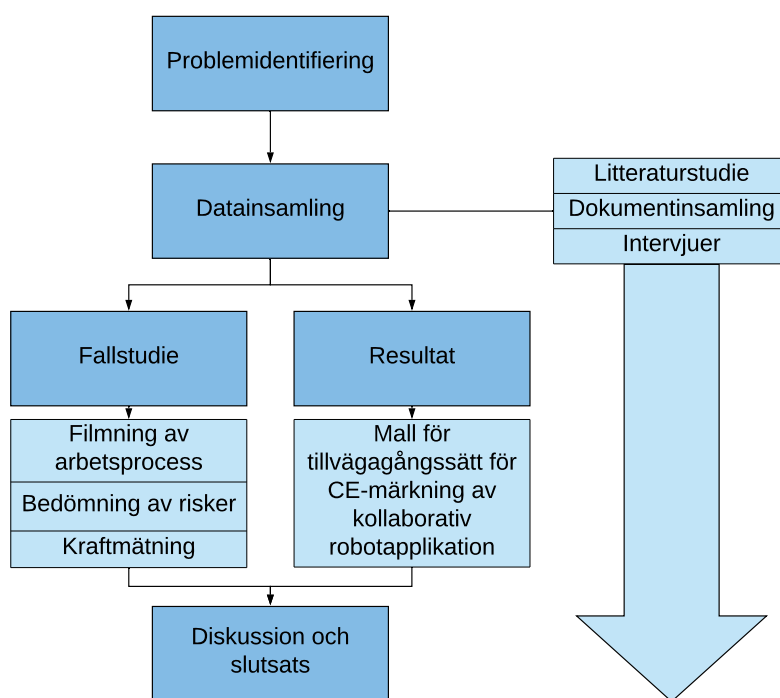
Studiens författare tar inte något juridiskt ansvar över CE-märkningen. Det återstående arbetet med CE-märkningen samt ansvaret för underskrifter på de blanketter som behövs för att slutföra arbetet ansvarar GTC för.

1.3 Precisering av frågeställning

1. Vad definieras som en kollaborativ robot?
2. Vad krävs för att CE-märka en kollaborativ robotstation?
3. Hur ser en riskbedömning av en kollaborativ robotstation ut?
4. Hur utförlig bör riskanalysen vara?

2. Metod

Arbetet utgår från både en praktisk fallstudie på uppdrag från Göteborgs Tekniska College och insamlad information i form av litteratur, officiella dokument och erfarenhet från intervjuer. Informationen används för att förstå det empiriska underlag som erhålls från fallstudien, men även tvärtom där empirin underlättar förståelsen för det insamlade underlaget. Framtagningen av mallen för tillvägagångssätt av CE-märkning använder främst empirin från fallstudien som informationskälla. En översikt över studiens metod visas nedan i Figur 2.1.



Figur 2.1 Översikt över studiens tillvägagångssätt.

2.1 Fallstudie

Det har genomförts en fallstudie vilken behandlar alla ingående delar som krävs för att få tillräcklig information omkring arbetets syfte och frågeställningar. Fördelen med att växla mellan fallstudien och litteratur för informationshämtning är att uppmärksamheten för det empiriska underlaget ökar (Blomkvist & Hallin, 2014). Fallstudien gjordes i form av ett verkligt exempel, där processen för att riskbedöma en kollaborativ robotstation ligger till grund för empirin. För att hålla sig inom syftets ramar är det viktigt att kunna visa logiken mellan forskningsfrågor, insamling av data och slutsatser (Jensen & Sandström, 2016). Riskbedömningen används därför i studien som underlag att förhålla sig till då det är en central del i CE-märkningsprocessen.

2.2 Datainsamlingsmetodik

I nedanstående avsnitt presenteras datainsamlingsmetodiken. Den består av en litteraturstudie, dokumentinsamling och intervjuer.

2.2.1 Litteraturstudie

För att få grepp om ämnet genomfördes en kvalitativ förstudie, där information till stor del inhämtades från Chalmers databas genom relevanta referenser såsom vetenskapliga artiklar, böcker och avhandlingar. Detta var av stor vikt för att kunna veta i vilken riktning arbetet skulle fortgå och var ytterligare information kunde inhämtas. Det gav även en förståelse angående vilka krav som ställs på olika parter i arbetet och eventuella problem som kan uppstå.

2.2.2 Dokumentinsamling

Under litteraturstudien framkom det att skulle krävas insamling av flertalet officiella dokument för att kunna genomföra det praktiska fallet. Detta är av stor vikt både ur ett metodiskt perspektiv för att kunna genomföra ett arbete relevant till syftet, men även ur ett juridiskt perspektiv. Att de olika delarna genomförs på ett korrekt sätt är ett krav från uppdragsgivarnas sida för att vid eventuell CE-märkning undvika juridiska problem.

Dokumentet bestod av *Maskindirektivet* vilket är säkerhetsföreskrifter om maskiner framtagna av Arbetsmiljöverket och har stöd i svensk lag (Arbetsmiljöverket, 2017), och en rad olika ISO-standarder framtagna av SIS (Svenska Institutet för Standarder). Dessa dokument innehåller den information som krävs för att kunna säkerställa att de grundläggande säkerhets-, hälso- och miljökraven uppfylls, vilket är väsentligt för att CE-märka en produkt. Lista på de standarder som använts finns i avsnitt 3.4 Standarder. För mer information angående *Maskindirektivet*, se avsnitt 3.3 Direktiv.

2.2.3 Intervjuer

Som metod är intervjuer ett enkelt sätt att samla på sig erfarenheter inom ett område och är därför ett av de vanligaste sätten att samla in kvalitativa data inom samhällsvetenskaplig forskning (Blomkvist & Hallin, 2014). Det kan vara till hjälp för att få både bredare och djupare förståelse beroende på intervjuobjekt och intervjumetodik, då intervjuer kan genomföras på olika sätt.

Den öppna intervjun utgår ifrån en vid fråga och fokuserar på vad respondenten tycker är meningsfullt (Lantz, 1993). Den lämpar sig bäst för att få förförståelse om ett ämne där intervjuaren vill få kunskap om hela sammanhanget. Resultatet av intervjun kan ledas åt olika riktningar beroende på individen som intervjuas och dess subjektiva bedömning och erfarenheter. En variant av den öppna intervjun är den riktat öppna intervjun där respondenten bör hålla sig inom ramarna för ett visst frågeområde men inte nödvändigtvis specifika frågor.

Den semi-strukturerade intervjun har en specifik ordning inom frågeområdet att gå efter men svaren respondenten ger kan både vara öppna och specifika (Lantz, 1993). Vad som betraktas meningsfullt är ömsesidigt mellan intervjuare och respondent, där respondent både svarar på de frågor intervjuaren tycker är viktiga och kommer med egna förslag denne tycker hör till syftet med intervjun.

De intervjuerna som genomfördes i arbetet var öppna eller semi-strukturerade. I de semi-strukturerade följde frågor i en specifik ordning som utgångspunkt, men respondenterna fick friheten att ge egna synpunkter på vad som är meningsfullt i arbetet. Studiebesöken var öppna intervjuer där respondenterna talade fritt om vad de tyckte var viktigt inom ämnet. Intervjuerna behandlade ämnen såsom respondenternas erfarenhet av att arbeta med CE-märkning,

kollaborativa robotapplikationer och allmänna råd om maskinsäkerhet. Arbetsgången för en CE-märkning ser olika ut beroende på vad som ska märkas och därför var frågorna öppna och utformade så att respondenterna skulle kunna gå igenom processen efter egna bedömningar och erfarenheter.

2.3 Riskbedömning

I nedanstående avsnitt presenteras hur riskbedömningen genomfördes i fallstudien och dess olika beståndsdelar. Tillvägagångssättet baseras på intervjumaterial och standarden om riskbedömning. För information om standarden, se avsnitt 3.4.1 Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010). De olika beståndsdelarna är:

- Filmning av arbetsprocessen
- Kraftmätning
- Stegen i riskbedömningen

2.3.1 Filmning av arbetsprocess

För att få en uppfattning om robotstationens användningsområde, vilket behöver tas i beaktning i riskbedömningen, filmades arbetsprocessen. Då riskbedömningen startade i en design/implementeringsfas var roboten ej programmerad ännu och stod därmed still. Den preliminära arbetsgången instruerades av en handledare steg för steg, vilket endast visade arbetsprocessen på en översiktlig nivå och detaljer om processen var dolda.

2.3.2 Bedömning av risker

Riskbedömningen genomfördes i fem olika steg.

Första steget i riskbedömningen var att sätta begränsningar för var, hur och av vilka robotstationen får användas. Till hjälp användes standarden om riskbedömningar inom maskinsäkerhet för att veta vilka områden som bör behandlas, se avsnitt 3.4.1 Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010). Gränserna sätts av tillverkaren och definierar stationens användningsområde, där ansvaret för eventuella risker som ligger utanför detta användningsområde inte ligger hos tillverkaren. På så sätt går det att reglera hur stort användningsområdet ska bli efter hur stort säkerhetsansvar de är beredda att ta. Gränserna diskuterades fram tillsammans med personal från GTC.

Därefter identifierades eventuella risker inom användningsområdet med avseende på robotstationens fyra faser under livstiden, vilka är hämtade från (Svenska Institutet för Standarder, 2010).

- Transport/hopsättning/installation
- Idrifttagning
- Användning
- Demontering/Skrotning

Till hjälp användes standarden om riskbedömningar inom maskinsäkerhet vilken listar exempel på risker, områden och moment vilka bör behandlas. Metoden vilken användes för att identifiera risker var "what-if/checklist", där en grupp på sju personer genomförde en

brainstorming-session med listorna från standarden för inspiration, för mer information om metoden se avsnitt 3.5.1.6 What-if/Checklist. Alla risker som skulle kunna hända skrevs ned och faktorer såsom allvarlighet och sannolikhet togs ej med i beräkningen.

För de sista stegen användes en mall från företaget Pilz, se Figur 2.2. Pilz är ett företag med gedigen erfarenhet av arbetet med maskinsäkerhet för kollaborativa robotar (Pilz, 2019 a). I mallen identifieras bland annat vilken kroppsdel som påverkas, vilken uppgift som utförs i stationen när risken sker, en beskrivning av risken och vilken riskreduktion som utförts.

Riskidentifikation		Risk nr.	??
Titel			
Berörd kroppsdel			
Aktivitet			
Uppgift			
Risktyp			
Beskrivning			
Referenser:			
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:		Possibility of Avoidance:	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:		Frequency And/or Duration of Exposure:	
Pilz Hazard Rating (PHR):	0	Summary Level:	
Riskreduktion			
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:		Possibility of Avoidance:	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:		Frequency And/or Duration of Exposure:	
Pilz Hazard Rating (PHR):	0	Summary Level:	

Figur 2.2 Mall för riskbedömning, (Mathieu, 2016). Omarbetad med tillåtelse.

Risken uppskattas utifrån fyra olika faktorer där värdena på dessa faktorer hämtas ifrån en färdig skala (Mathieu, 2016). Tabell 2.1-Tabell 2.4 visar de olika skalorna. De fyra faktorerna är:

- Sannolikhet
- Allvarlighet
- Exponeringsfrekvens

- Möjlighet att undvika faran

Tabell 2.1 Hur allvarlig personskada risken kan ge upphov till, (Mathieu, 2016). Omarbetad med tillåtelse.

Värde	Grad av eventuell skada
0,25	Små rivsår/blåmärken
0,5	Rivsår/skärsår/mild skadlig hälsoeffekt/ mindre brännskador
3	Fraktur i mindre ben – finger, tå
5	Fraktur i större ben – hand, arm, ben
8	Förlust av 1–2 fingrar/tår, allvarlig brännskada
11	Amputation av ben/hand, förlust av hörsel/syn i ena örat/ögat
15	Amputation av 2 ben/händer, total förlust av hörsel/syn i båda öronen/ögonen
25	Kritiska skador eller permanent sjukdom/tillstånd/skada
40	Dödsfall (1 person)
65	Katastrof

Tabell 2.2 Hur troligt det är att risken inträffar, (Mathieu, 2016). Omarbetad med tillåtelse.

Värde	Möjlighet att faran inträffar
0,05	Nästan omöjligt
1,25	Osannolikt
2,5	Möjligt
4	Troligt
6	Definitivt

Tabell 2.3 Hur troligt det är att operatören kan undvika faran, (Mathieu, 2016). Omarbetad med tillåtelse.

Värde	Möjlighet att undvika faran
0,75	Möjligt
2,5	Möjligt under vissa förhållanden
5	Inte möjligt

Tabell 2.4 Hur ofta risken kan inträffa, (Mathieu, 2016). Omarbetad med tillåtelse.

Värde	Exponeringsfrekvens
0,5	Årligen
1	Månadsvis
2	Veckovis
3	Daglig
4	Timvis
5	Konstant

Efter det totala värdet från de fyra faktorerna är erhållet kategoriseras risken i sex steg, se Tabell 2.5. Från försumbar där ingen reduktion eller åtgärd krävs till väldigt hög risk, vilken behöver åtgärdas omedelbart. Om ingen åtgärd/reduktion krävs, är risken färdigdokumenterad. I de fall där åtgärd/reduktion är nödvändiga ska reduktionen beskrivas. När reduktionen är utförd omvärderas risken och ett nytt värde erhålls. Är det nya värdet tillräckligt lågt och ingen ny risk identifierad är risken färdigdokumenterad. Annars börjar processen om igen från början.

Tabell 2.5 De olika nivåerna av risker samt vilken åtgärd som bör införas, (Mathieu, 2016). Omarbetad med tillåtelse.

Värde	Risk	Åtgärd
1–10	Försumbar risk	Ingen reduktionsåtgärd behövs
11–20	Väldigt låg risk	Ingen stor reduktionsåtgärd krävs, men kan behövas skyddsutrustning eller personlig träning
21–45	Låg risk	Låg risk för personskada men reduktionsåtgärder behöver tas i beaktning
46–160	Signifikant risk	Risken tillräckligt hög för att reduktionsåtgärd ska vara nödvändig
161–500	Hög risk	Arbetet med reduktionsåtgärder bör skyndas på
501+	Väldigt hög risk	Reduktionsåtgärd måste göras direkt

2.3.3 Kraftmätning

För att validera att robotens krafter vid kollision inte överstiger de krav som ställs, användes en extern part som har tillgång till utrustning för kraftmätning, vilket i detta fall var Pilz.

Utifrån riskbedömningen valdes fyra mätpunkter att kontrollera, varav tre var kollisioner med klämrisker och en var kollision utan risk för klämrisk. Dessa var de mest troliga och allvarliga scenarier vilka uppskattades kunna hända vid de kollaborativa arbetsmomenten. Kollisionerna orsakades i testerna genom att simulera robotens rörelser efter hur arbetsprocessen är menad att se ut. Operatörens kroppsdelar var i detta fiktiva fall utbytt mot en mätprob vilken mäter kraften. Trycket mättes med ett papper i två lager, där ena lagret innehåller små färgampuller vilka ger ett avtryck på andra pappret. Pappret skannas sedan in och datorn avläser var trycket är störst och hur högt det är. De scenarier vilka testades är:

1. Roboten för detaljen mot fixturen varpå robotens verktyg kolliderar med handens ovansida vilken är placerad på monteringsfixturen.
2. Roboten för detaljen mot fixturen varpå operatörens hand kläms mellan robotens verktyg och monteringsfixturen.
3. Roboten för den stora skruvdragaren mot detaljen vilken är monterad på fixturen varpå skruvdragaren kolliderar med operatörens pekfinger vilken är placerad på detaljen.
4. Roboten för den stora skruvdragaren i riktning mot fixturen varpå den kolliderar med operatörens tinning.

Robotens hastighet reglerades efter maxvärden på kraft och tryck, där maxvärdena varierade och berodde på vilken kroppsdel som var avsedd att kollidera i scenariot. Kanter och ojämnheter slipades även till i vissa fall, för att uppnå gynnsamma resultat. Kraftmätningen resulterade i en rapport sammanställd av Pilz vilka verifierade mätvärdena.

2.4 Flödesschema

I rapporten finns ett antal flödesscheman för att förenkla för läsaren och belysa olika tillvägagångssätt. Programmet Lucid Chart användes för att skapa samtliga av dessa flödesscheman.

2.5 Validitet och reliabilitet

För att resultatet ska vara tillförlitligt i arbetet krävs det en strävan efter hög validitet och reliabilitet (Blomkvist & Hallin, 2014). Med validitet menas att det som studeras och hur det studeras överensstämmer med problematisering, frågeställningar och syfte så att arbetet håller sig innanför dess omfattning. Hög reliabilitet innebär att det som studeras är tillförlitligt och av hög kvalitet. Hög reliabilitet är ingen garanti för hög validitet, dock är det en förutsättning för densamma.

Litteraturstudien var av stor vikt för att kunna få hög validitet, då det gav en bild av hur arbetet bör utformas när det gäller omfattning. Vägen till en CE-märkning kan se annorlunda ut från fall till fall, men det fanns arbetsmetodspecifika delar vilka återkom i flera källor och därmed gav reliabilitet. Genom litteraturstudien hittades också de krav som måste uppfyllas för att kunna genomföra denna typ av arbete, exempelvis vilka officiella dokument som måste följas.

Genom att det valdes ut och användes specifika officiella dokument anpassade för syftet och frågeställningarna, såsom ISO-standarder och *Maskindirektivet*, uppnåddes validitet. Mer om vad *Maskindirektivet* är finns att läsa i avsnitt 3.3.1 Maskinsäkerhet och Maskindirektivet. Det faktum att dessa är officiella dokument framtagna för specifika syften gör att de är tillförlitliga och därmed medförde hög reliabilitet.

Intervjuer genomfördes med personer vilka sitter i en kommitté hos Svenska Institutet för Standarder (SIS) för robotar och robotutrustning. SIS har ett flertal kommittéer ansvariga för att ta fram och utveckla ISO-standarder och några av de standarder som framtagits av kommittén SIS/TK 278 används i arbetet (Svenska Institutet för Standarder, 2019 a). Validitet och reliabilitet erhålls då dessa standarder befinner sig inom omfattningen och respondenterna är förstahandskällor i hur kraven ska tolkas.

Det genomfördes även en intervju med en person med kunskap inom sjöfart, ett studiebesök på Volvo lastvagnar och ett studiebesök på Chalmers Stena Industry Innovation Lab. Detta var personer med olika typer av bakgrund, vilket medför validering då olika perspektiv ger en bättre helhetsbild. På Volvo observerades en kollaborativ robot vilken nyligen implementerats i produktionen och detta gav reliabilitet, vilket även gavs på Chalmers SII-labb genom observation av olika typer av kollaborativa robotar.

3. Teori

I nedanstående avsnitt presenteras den teori vilken behövs för att avgöra vad en kollaborativ robot är och vad dess användningsområde förväntas vara inom industrin. Sedan förklaras vad CE-märkning är, varför det är viktigt samt hur CE-märkningen går till. I arbetet med CE-märkning av en kollaborativ robotapplikation är det även viktigt att känna till ett antal direktiv och standarder och därför presenteras några av dessa. Tillvägagångssättet för att genomföra en riskbedömning samt ett antal olika riskbedömningsmetoder för detta presenteras även.

3.1 Kollaborativa robotar

Uttrycket “cobots” förklaras av Peshkin och J. Colgate (1999) och är en sammanslagning av de två orden *collaborative* och *robots*. De beskriver en cobot som “*intended for direct interaction with a human worker, handling a shared payload*” (Peshkin & Colgate, 1999, s. 1). Författarna Peshkin och J. Colgate (1999) beskriver även att kollaborativa robotapplikationer är ett tydligt avsteg från den traditionella robotcellen, där den traditionella robotcellen har gjorts säker för människan genom stängsel och grindar vilka förhindrar operatören tillträde när roboten är i drift.

En kollaborativ robotstation kombinerar robotens egenskaper att kunna hantera moment med hög precision och styrka med människans logiska tänkande och flexibilitet (Djuric, Urbanic, & Rickli, 2016). De är tänkta som ett hjälpande verktyg för operatören snarare än att ersätta och kan fysiskt arbeta tillsammans med operatören inom ett visst arbetsområde (Fast-Berglund, Palmkvist, Nyqvist, Ekered, & Åkerman, 2016). Belastning som är ergonomiskt skadligt för operatören kan istället läggas på roboten. Dessutom öppnar det upp för möjligheten att operatören och roboten kan arbeta med separata moment samtidigt, där operatören annars hade behövt avsätta tid för båda momenten i följd, vilket kan öka produktiviteten vid rätta arbetsförhållanden. Kollaborativa robotar är flexibla på det sättet att de kan programmeras till att genomföra olika typer av uppgifter, vilket kan lämpa sig för en hög produktvariation.

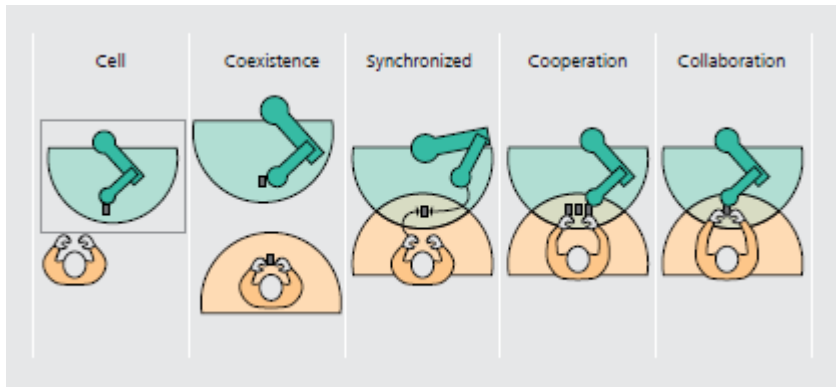
Om en kollaborativ robot är lönsam ur ett produktionstekniskt perspektiv beror helt på vilken typ av applikation det rör sig om och vilka moment som ska utföras (SME Media, 2018). Enkla monotona arbetsuppgifter i applikationer med förhållandevis långa cykeltider i arbetsytor som delas med andra arbetare fungerar bra men användningsområdet är begränsat då de även är långsammare och svagare än de traditionella industrirobotarna.

3.1.1 Olika nivåer på kollaboration

I en studie från Fraunhofer Institute for Industrial Engineering från 2016 väljer de att dela upp nivån på kollaboration i fyra olika steg. Den första varianten nedanför är inte ett exempel på kollaboration utan på hur en traditionell robotcell fungerar. Dessa nivåer illustreras även i figur 3.1 (Bauer, Bender, Braun, Rally, & Scholtz, 2016). Dessa är:

- Cell – ingen kollaboration mellan robot och operatör då roboten är innanför ett staket vilket begränsar operatörens tillträde till robotens arbetsyta
- Samexistens – en robot utan stängsel men där ingen kollaboration existerar. Roboten arbetar på andra detaljer än operatören och inte på samma arbetsyta

- Synkroniserad – Människa och robot delar arbetsyta men det är bara en av de två som arbetar inom arbetsytan åt gången
- Samarbete (cooperation) – Både människa och robot arbetar samtidigt inom arbetsytan men inte på samma detalj eller produkt samtidigt
- Kollaboration – Människa och robot delar arbetsyta och arbetar på samma detalj samtidigt



Figur 3.1 Figuren visar de olika nivåerna på kollaboration, (Bauer, Bender, Braun, Rally, & Scholtz, 2016). Återgiven med tillstånd.

3.1.2 Kollaborativ robot i jämförelse med traditionell robot

Det finns en rad typiska skillnader mellan vanliga traditionella industrirobotar och kollaborativa robotar (Djuric, Urbanic, & Rickli, 2016), vilka beskrivs i punktlistan nedan:

- De traditionella är fixerade vid samma plats efter installation och de kollaborativa kan omflyttas förutsatt att säkerhetskraven är uppfyllda.
- När det kommer till arbetsuppgifter kan de kollaborativa robotarna hantera variation i typen av uppgift lättare än traditionella industrirobotar vilka har få ändringar över tid.
- Det är dessutom dyrare för industrirobotar att göra förändringar än för de kollaborativa.
- Säkerhetsmässigt så är de kollaborativa robotarna konstruerade för att kunna fysiskt samverka och ha ett nära samarbete med operatören på ett säkert sätt, vilket de traditionella inte kan.
- Industrirobotar är mest lönsamma vid relativt höga tillverkningsstorlekar. Kollaborativa robotar är i jämförelse ofta mer lönsamma vid mindre tillverkningsstorlekar.
- Då de kollaborativa robotarna är konstruerade för nära samarbete med operatören är kraven på riskanalysen högre än för de traditionella vilka inte kräver en lika grundlig riskanalys.

3.1.3 Exempel på kollaborativa robotapplikationer

Det finns många exempel på kollaborativa robotar som används inom industrin. Här nedan presenteras ett exempel för att läsaren ska förstå den breda definitionen vilken gäller för uttrycket kollaborativ.

Ett samarbete mellan flera olika företag resulterade i en självkörande mobil plattform med två robotarmar monterade (Cole, 2017). Cobotens uppgift är att doppa delar i svart oxid, en process som tidigare sköttes manuellt.

Ett annat exempel återfinns i en kontorsbyggnad (Veloso, Biswas, Coltin, & Stephanie, 2015). Dessa cobots åker runt i lokalerna där deras arbetsuppgifter bland annat består i att lämna och hämta olika föremål och eskortera besökare mellan möteslokaler. De kan även använda hissarna vilket inte gör de låsta till en och samma våning.

En fallstudie utfördes i en industri där de utvärderade en produkt vilken tidigare inte var lönsam att automatisera (Fast-Berglund, Palmkvist, Nyqvist, Ekered, & Åkerman, 2016). Det skedde dels genom förbättringar i produktens flöde, dels genom att föreslå implementationen av tre kollaborativa robotar. Slutsatsen blev att det fanns en stor potential till förbättring, men att säkerställa operatörens säkerhet behövde utvärderas ytterligare innan implementationen kan genomföras.

3.1.4 Teknik inom området

Det finns en mängd tekniska lösningar vilket en tillverkare bör ta i beaktning beroende på vad den kollaborativa robotapplikationen ska användas till. Då tekniken är relativt ny är det däremot svårt att hitta vetenskapliga undersökningar som utvärderar alla teknikerna. Av denna anledning är samtliga exempel refererade till tillverkarnas hemsida. Nedanstående är inte all sorts teknik, utan ett axplock för att visa att det finns flera olika vägar att gå för att uppnå en hög personsäkerhet i den kollaborativa applikationen.

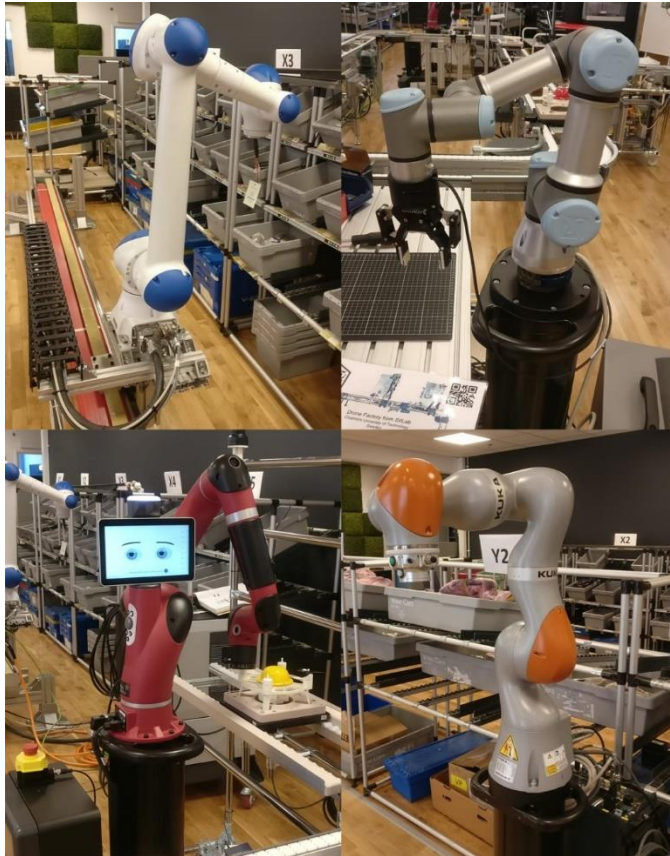
Pilz har utvecklat en tryckkänslig matta, vilken känner av om människor står någonstans på ytan (Pilz, 2019 b). Det här kan sedan användas till att programmera en robot att sänka hastigheten om människan kommer för nära roboten.

Att en människa inte kommer för nära den arbetande robotarmen kan även garanteras med hjälp av olika lasersystem (Sick, 2019). Roboten kan sedan programmeras att röra sig i olika hastigheter samt stanna helt beroende på var människan befinner sig i skannerns område.

Olika robotar har även olika inbyggda säkerhetssystem, Figur 2.2 visar fyra olika varianter på kollaborativa robotar vilka finns i Stena Industry Innovation Lab på Chalmers Lindholmen. Roboten IIWA från KUKA mäter kraften i alla sju axlar (KUKA, 2019). Det här möjliggör att roboten själv upptäcker när kollision sker och att roboten kan programmeras att stanna när kollision sker. Roboten IIWA är i nedre högra hörnet på Figur 3.2.

Även roboten Sawyer från Rethink Robotics har inbyggd kraftmätning och rundade armar likt IIWA (rethink robotics, 2019). Den är även utrustad med kamera i robotens handled vilken kan programmeras till olika användningsområden.

Det går att klä in roboten i ett ”skinn” vilken både fungerar stötdämpande samt stannar roboten vid kontakt (Blue Danube Robotics, 2019). Det går även att klä in robotens verktyg vilket kan avhjälpa mot vissa av riskerna förknippade med verktyget.



Figur 3.2 Olika kollaborativa robotar som finns i Stena Industry Innovation Lab på Chalmers Lindholmen. Överst till vänster i bild är roboten Motoman HC10 från Yaskawa, överst till höger UR5e från Universal Robots. Nederst till vänster är roboten Sawyer från Rethink Robotics och nederst till höger LBR iiwa från KUKA. Författarnas egen bild.

3.1.5 Psykologiska effekter av robotsamarbeten

Det har utförts ett antal studier om kollaborativa robotapplikationer tidigare. En studie från Michalos et al. (2015) jämförde tre fall där kollaborativa robotar implementerats och konstaterar att applikationer vilka innehåller oförutsägbara robotrörelser ej lämpar sig för kollaborativa samarbeten då det har visat sig reducera människors hälsa och prestation (Michalos, o.a., 2015). Vidare skriver de att operatörerna känner sig säkrare och mer bekväma om taktila skydd, visuella signaler eller ljudsignaler används.

I en annan studie utförd av Kadir, Broberg och Souza da Conceição (2018) intervjuades personer på tre olika företag som hade implementerat kollaborativa robotar. De skriver att arbeta i närheten av en robot kräver att operatörerna ändrar sitt rörelsemönster, beteende och sättet de tänker på (Kadir, Broberg, & Souza da Conceição, 2018). De skriver att operatörerna till en början inte litade på de inbyggda säkerhetssystemen för kollisionsskydd men att det gick över efter de arbetat med roboten ett tag.

3.2 CE-märkning

Att en produkt är CE-märkt innebär att den ska uppfylla de hälso-, miljö- och säkerhetskrav som ställs av Europeiska Unionen (EU) (Svenska Institutet för Standarder, 2019 b). Med produkter menas alltifrån leksaker, personlig skyddsutrustning till maskiner och olika

komponenter till maskiner. För att veta vad som gäller för olika produkter finns ett antal direktiv utformade av EU, i tabellen nedan visas några direktiv samt vilken som är den ansvarige myndigheten för direktivet.

Tabell 3.1 Tabell över några av de direktiv som finns.

Produktområden	Ansvarig myndighet
Bedömning och hantering av omgivningsbuller (2002/49/EG)	Naturvårdsverket
Elektromagnetisk kompatibilitet EMCD (2014/30/EG)	Elsäkerhetsverket
Lågspänning (2014/35/EG)	Elsäkerhetsverket
Maskinsäkerhet (2006/42/EG)	Arbetsmiljöverket
Personlig skyddsutrustning (89/686/EEG)	Arbetsmiljöverket/Konsumentverket
Tryckbärande anordningar (2014/68/EU)	Arbetsmiljöverket

CE-märket på produkten ska se ut på ett visst sätt så att det blir likformigt men storleken på märket ska anpassas till storleken på produkten, figuren nedan visar hur CE-märket ska se ut (Svenska Institutet för Standarder, 2019 b). Det ska även placeras synligt på produkten samt vara bestående.



Figur 3.3 CE-märkets utseende, (Europeiska kommissionen, 2019).

Europeiska Unionen har tagit fram en lista i sex steg för tillverkare när de ska CE-märka deras produkter (Europeiska Unionen, 2019).

1. Vilka är EU-kraven för din produkt?

Första steget avser att tillverkaren ska identifiera vilken produkt som ska tillverkas samt vilka direktiv som är tillämpliga på produkten eller produktsektorn.

2. Uppfyller din produkt de särskilda kraven?

Andra steget tydliggör att det är tillverkaren av produkten som är ansvarig över att de regler som finns i direktiven följs och att dessa regler ligger till grund för konstruktionen.

3. Måste produkten vara testad av ett anmält organ?

För vissa produkter kan det krävas att de testas av en oberoende organisation för att verifiera att reglerna direktiven ställer överensstämmer med produkten (SWEDAC, 2019). I Sverige är det SWEDAC vilka tillsammans med den ansvarige myndigheten för direktivet som avgör vilka organisationer (kontrollorgan) som kan kontrollera vilka produkter. Huruvida

en kollaborativ robotapplikation behöver kontrolleras av ett kontrollorgan står det mer om i avsnitt 3.3 Direktiv.

4. Testa din produkt

För de produkter vilka inte behöver kontrolleras av ett kontrollorgan är det tillverkaren som ska testa och verifiera att direktiven åtföljs. Detta ska även dokumenteras. En riskbedömning ska även utföras för att dokumentera och identifiera vilka risker det finns i samband med användning av produkten. Mer om riskbedömning finns i avsnitt 3.5 Riskbedömning.

5. Ta fram teknisk dokumentation

Efter att verifiering har skett av antingen ett kontrollorgan eller av tillverkaren ska den tekniska dokumentationen tas fram. Den tekniska dokumentationen ska vara tillräckligt omfattande så att den bevisar att direktiven har följts. Mer om vilken teknisk dokumentation som behövs står även det att läsa i avsnittet 3.3 Direktiv.

6. Sätt på CE-märket och skriv en försäkran om överensstämmelse

Det sista steget är att sätta fast CE-märket på produkten samt fylla i en försäkran om överensstämmelse vilket är ett intyg från tillverkaren att alla regler i direktiven följs. I de fall kontroll av kontrollorgan krävs ska CE-märket även innehålla ett ID-nummer till kontrollorganet.

3.3 Direktiv

Nedan följer en kort beskrivning på de direktiv som är tillämpliga för fallstudien.

3.3.1 Maskinsäkerhet och Maskindirektivet

Maskindirektivet (2006/42/EG) är det EU-direktiv som beskriver vilka krav det finns på maskiner som ska börja säljas eller brukas på marknaden inom EU (Europeiska kommissionen, 2019). Som maskin räknas även till exempel säkerhetskomponenter, lyftredskap, kedjor, kättingar och delvis fullbordade maskiner (Arbetsmiljöverket, 2017).

I svensk lagstiftning uppfylls de hälso- och säkerhetskrav *Maskindirektivet* specificerar genom *Arbetsmiljöverkets föreskrift; Maskiner AFS 2008:3* vilken grundar sig på direktivet 2006/42/EG (Svenska Institutet för Standarder, 2019 c). Tillverkare av en robotapplikation är skyldiga att följa *Maskindirektivet* enligt lag, annars har arbetsmiljöverket rätt att tvinga tillverkaren att återkalla maskinen från marknaden eller rätten att besluta om försäljningsförbud för den berörda maskinen (Arbetsmiljöverket, 2019 a). Mer i detalj vilka krav *Maskindirektivet* ställer står i nästa delkapitel.

3.3.2 Vad säger Maskindirektivet?

För att kunna definieras som en maskin krävs det att det är en sammansatt enhet vilken inte drivs direkt av kraften från en människa eller ett djur men som genom anslutna komponenter kan drivas mot ett specifikt mål, där minst en av dessa komponenter är rörlig (Arbetsmiljöverket, 2017).

Det kallas fortfarande för maskin om det är flera maskiner eller delvis fullbordade maskiner som samverkar för att uppfylla ett syfte och arbetar mot samma mål.

3.3.2.1 Delvis fullbordad maskin

Delvis fullbordad maskin är en sammansatt enhet som nästan utgör en maskin men som inte ensam kan användas för något särskilt ändamål. Ett drivsystem är en delvis fullbordad maskin. En delvis fullbordad maskin är endast avsedd att byggas in i eller monteras ihop med andra maskiner eller med andra delvis fullbordade maskiner eller annan utrustning, så att de bildar en maskin som direktiv 2006/42/EG är tillämpligt på. (Arbetsmiljöverket, 2017, s. 4)

En robotarm är ett exempel på en delvis fullbordad maskin, vilket medför att tillverkaren av robotarmen ej har möjlighet att uppfylla alla kraven i enlighet med *Maskindirektivet*. Det blir således tillverkaren av applikationen där robotarmen ska verka som blir ansvarig över att helheten, det vill säga robotapplikationen, överensstämmer med *Maskindirektivet*.

Underleverantören för den delvis fullbordade maskinen slipper inte undan ansvar helt, då även de har plikt att behålla relevant teknisk dokumentation för den delvis fullbordade maskinen separat i minst 10 år samt delge delar av denna information till slutleverantören (Arbetsmiljöverket, 2017). Då den delvis fullbordade maskinen är menad som del i ett system krävs det att denna del är tillförlitlig med avseende på styrsystemet och driv- och bromssystemet för att implementationen ska bli lyckad och denna grundförutsättning ansvarar underleverantören för.

3.3.2.2 Elementära steg i CE-märkning enl. *Maskindirektivet*

Hela avsnittet är hämtat från eller baserat på *Maskindirektivet*. Innan en maskin (i.e. robotapplikation) får tas i drift är det några punkter vilka ska vara uppfyllda enligt *Maskindirektivet*. Dessa är:

- De hälso- och säkerhetskrav som finns i *Maskindirektivet*, bilaga 1 ska vara uppfyllda.
- Teknisk dokumentation som finns specificerat i bilaga 7, avsnitt A ska finnas tillgängligt.
- “Genomföra tillämpligt förfarande för bedömning av överensstämmelse enligt 10–13 §§” (Arbetsmiljöverket, 2017, s. 4). I fallet med en kollaborativ robotapplikation innebär det att tillverkaren vidtar åtgärder för att tillverkningsprocessen och maskinen uppfyller kraven.
- Upprätta en EG-försäkran om överensstämmelse, vilken finns beskrivet i bilaga 2, del 1, avsnitt A.
- Den faktiska CE-märkningen av maskinen. Finns beskrivet i bilaga 3 hur den ska se ut samt var den bör placeras.

Den tekniska dokumentation tillverkaren ska tillhandahålla innefattar:

- Allmän beskrivning av maskinen
- Helhetsritning över maskinen

- Ritningar över styrkretsar samt beskrivningar så att en utomstående person kan förstå hur maskinen fungerar
- Detaljritningar med beräkningar, provningsresultat, intyg som möjliggör en kontroll att hälso- och säkerhetskraven är uppfyllda
- Dokumentation från riskbedömning,

Riskbedömningen innefattar:

- Förteckning över vilka hälso- och säkerhetskrav som ställs av de direktiven som är tillämpliga
- Beskrivning av risker hos applikationen samt vilka skyddsåtgärder som vidtagits, vilket i sin tur innefattar:
 - Tekniska rapporter med resultat av de provningar som gjorts
 - Bruksanvisningen
 - Vilka standarder som använts
 - För delvis fullbordade maskiner (i.e. roboten) som ingår i helheten krävs av tillverkaren en försäkran för inbyggnad samt monteringsanvisningar
 - EG-försäkran om överensstämmelse för andra ingående komponenter
 - EG-försäkran om överensstämmelse på applikationen

Det finns även lite andra bestämmelser om serietillverkning vilket ej är aktuellt för fallet i den här rapporten då robotapplikationen i fallstudien ej är menad för serietillverkning eller försäljning, utan endast för användning och driftsättning.

Den tekniska dokumentation ska finnas tillgänglig i tio år efter tillverkningsdagen och ska kunna sammanställas *“inom en tidsperiod som står i rimligt förhållande till hur komplicerad den är”* (Arbetsmiljöverket, 2017, s. 41, bilaga 7).

3.3.3 Lågspänningsdirektivet

För elektriska komponenter och utrustning med en märkspänning mellan 50 och 1000 V växelström samt mellan 75 och 1500 V likström är det krav att följa lågspänningsdirektivet (2014/35/EG) (Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/35/EU av den 26 februari 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om tillhandahållande på marknaden av elektrisk utrustning, 2014). Genom att följa lågspänningsdirektivet uppnås en hög skyddsnivå för både djur och människor.

Det finns ett antal undantag vilka inte infaller under lågspänningsdirektivet. Dessa beskrivs i bilaga II och innefattar bland annat elstängselapparater, stickproppar och uttag för allmänt bruk, elmätare och elektriska delar för varu- och personhissar. Det innebär att lågspänningsdirektivet innefattar den kollaborativa robotapplikationen.

Även lågspänningsdirektivet listar en del teknisk dokumentation som ska finnas så att tillverkarna bevisar att direktivet uppfylls. Utdrag ur *Lågspänningsdirektivet*:

- Allmän beskrivning av den elektriska utrustningen
- Konstruktions- och tillverkningsritningar samt scheman över komponenter, delmonteringar, kretsar etcetera

- De standarder som använts
- Resultat av utförda konstruktionsberäkningar och undersökningar etc.
- Provningsrapporter

3.3.4 Direktivet om elektromagnetisk kompatibilitet

Elektroniska apparater kan både störa sin omgivning samt bli störda av annan elektronisk utrustning. Elektromagnetisk kompatibilitet syftar till att apparater ska fungera i harmoni med varandra. Både i avseende att de inte ska störa annan utrustning samt att de inte ska bli störda av annan utrustning (Tooley, 2010).

Även EMC-direktiv omfattar kollaborativa robotapplikationer, då de ej är upptagna i undantagsfallen (Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/30/EU av den 26 februari 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet (omarbetning), 2014). Den tekniska dokumentationen direktivet listar som nödvändig är: Utdrag ur *EMC-direktivet*:

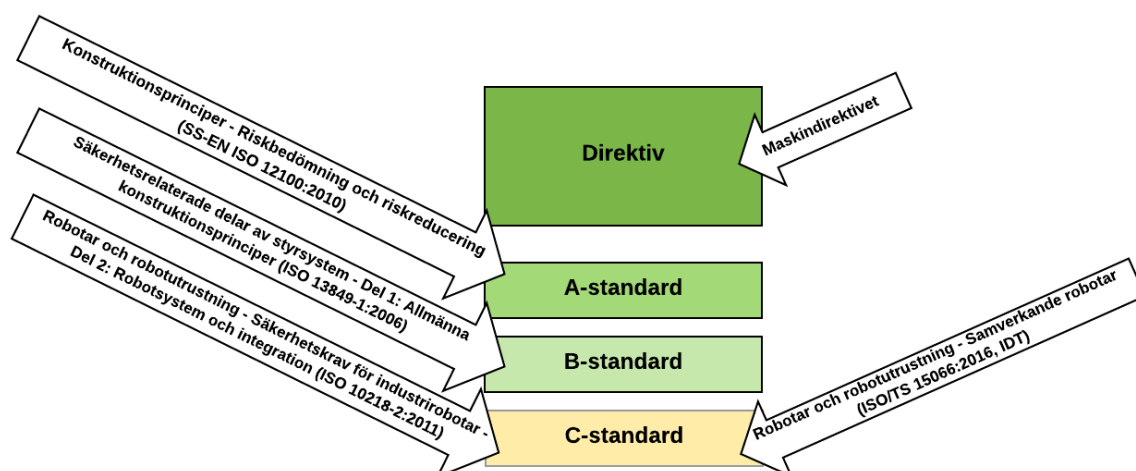
- Allmän beskrivning av apparaten
- Konstruktions- och tillverkningsritningar samt scheman över komponenter, delmonteringar, kretsar etc.
- Beskrivningar och förklaringar till de ritningar och scheman som har samlats ihop, så att det går att förstå dessa
- De standarder som använts
- Resultat av utförda konstruktionsberäkningar och undersökningar etc.
- Provningsrapporter

3.4 Standarder

För att hjälpa tillverkare att följa lagstiftningen finns det även en mängd standarder som bryter ner vad som står i direktiven. Att en standard är harmoniserad innebär att den följer de krav de olika EU-direktiven ställer (Europeiska Unionen, 2019).

Allmänt för alla maskiner gäller standarden *Konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (SS-EN ISO 12100:2010)*. Den beskrivs som en A-standard vilket innebär att “den innehåller allmänna och grundläggande principer” (Svenska Institutet för Standarder, 2019 c, andra stycket). Det är med andra ord en standard vilken tillverkare och integratörer av alla slags maskiner bör använda sig utav vid arbetet med riskbedömningen (Svenska Institutet för Standarder, 2010).

Vidare finns även B- och C-standarder där B-standarder innehåller aspekter vilka är tillämpbara på flera olika maskiner medan C-standarder riktar in sig på specifika maskintyper (Svenska Institutet för Standarder, 2019 c). Relationen mellan direktiv samt de olika standarderna visas i Figur 3.4.



Figur 3.4 Relationen mellan direktiv, A-, B- och C-standarder.

Det finns många olika standarder vilket kan göra det svårt för tillverkare att veta vilka som bör följas för att de ska kunna säkerställa att deras produkt är säker samt följer kraven i de olika direktiven. I fallet med robotar finns det två olika standarder vilka specifikt behandlar dessa, samt en teknisk specifikation speciellt framtagen till kollaborativa robotapplikationer, tabellen nedan visar vilka de är.

Tabell 3.2 Namn och ISO-nummer på de standarder som behandlar industrirobotar.

Namn	ISOnr
Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 1: Robotar	ISO 10218–1:2011
Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotsystem och integration	ISO 10218–2:2011
Robotar och robotutrustning - Samverkande robotar	ISO/TS 15066:2016

Att *ISO/TS 15066* är en teknisk specifikation innebär att arbetet med dokumentet inte är färdigutvecklat, men där målet är att den tekniska specifikationen ska bli en standard (International Organization for Standardization, 2019).

De olika standarderna som har använts för fallstudien i den här rapporten finns beskrivna mer i detalj i nedanstående underkapitel 3.2.2–3.2.4.

3.4.1 Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010)

En viktig del i implementeringen av en kollaborativ robotapplikation är att se över säkerheten och genomföra en grundlig riskbedömning för att kunna identifiera risker och åtgärda dessa (Svenska Institutet för Standarder, 2010).

EN ISO 12100:2010 är en standard speciellt framtagen för riskbedömning utav olika maskiner. Den ger en generell arbetsgång hur en riskbedömning går till samt andra viktiga faktorer vilka det är bra att tänka på under en riskbedömning (Svenska Institutet för Standarder, 2010). Hela avsnittet baseras på denna standard.

Den generella arbetsgången är uppdelad i 5 steg och beskrivs nedan.

Sätta gränser för under vilka förhållanden maskinen får verka i.

I det här steget bestäms under vilka förhållanden får verka i under hela dess livstid.

Maskinens egenskaper samt hur personal ska interagera med maskinen bestäms i det här steget.

Genom att sätta tydliga gränser för maskinen kan även faror och risker som identifieras i nästkommande steg i riskbedömningen elimineras eller uteslutas då de inte bedöms vara relevanta på grund av de satta gränserna. Exempel på gränser är till exempel miljön maskinen kan verka i, vem som får använda maskinen eller vilket serviceintervall som behövs.

Riskidentifikation

Syftet med det här steget är att identifiera alla faror, risksituationer eller riskfyllda händelser som kan uppstå. Det är viktigt att ha i åtanke hela applikationens livscykel (Svenska Institutet för Standarder, 2010). I *ISO 12100* finns även listor på de olika momenten som kan tänkas utföras av och på en maskin under dess livscykel samt en omfattande lista på olika faror, vilket kan användas som stöd under en riskbedömning.

Riskuppskattning

Nästa steg är att uppskatta hur pass allvarliga de identifierade riskerna är. Standarden konstaterar att en risk är en funktion av allvarlighetsgraden samt sannolikheten att risken sker. Sannolikheten delas sedan upp i tre delar. Dessa är:

- Hur många personer som blir påverkade
- Förekomsten av risken
- Hur stor möjlighet det finns att undvika eller begränsa skadan

Riskutvärdering

Avsikten med riskutvärderingen är att avgöra om den identifierade risken kan accepteras i applikationen eller om reduktionsåtgärder är nödvändiga att utföras.

Om det bedöms att riskreduktion är nödvändig går man till nästa steg. Om risken bedöms acceptabel eller tillräckligt låg är risken färdigdokumenterad.

Riskreduktion

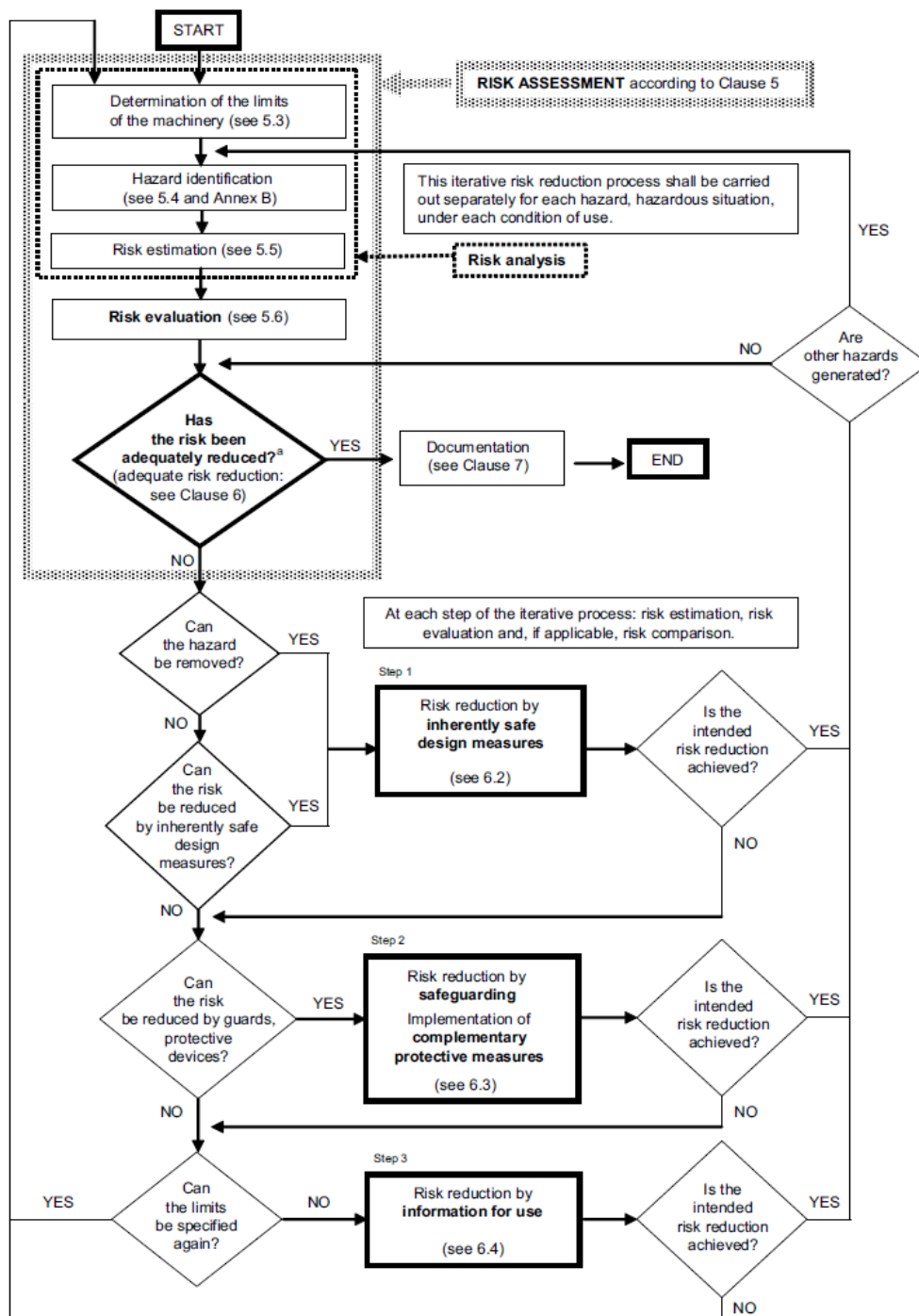
Riskreduktion är i standarden indelad i tre kategorier vilka även rangordnas efter hur effektiva de är på att minska risken.

Den mest eftersträvansvärda åtgärden är att reducera risken genom “inneboende säker design”. Det vill säga genom att konstruera bort risken så att den inte existerar längre.

Det näst mest eftersträvansvärda är att reducera risken genom att sätta upp skydd vilka förhindrar att risken kan inträffa eller minskar risken så den inte får lika allvarliga följder. Ett exempel är de skyddsstaket vilka finns runt traditionella robotceller. De förhindrar att operatören kan komma i kontakt med roboten när den är i rörelse. I fallet med kollaborativa applikationer kan det ske genom att sänka robotens hastighet och därmed den eventuella kraften vilken blir vid en eventuell kollision mellan operatör och robotarm.

Om de två ovanstående metoderna inte är möjliga att utföras eller att en oacceptabel risk kvarstår efter att dessa två metoder applicerats är det sista alternativet att informera om risken. Det här kan till exempel ske genom att tillhandahålla utbildning till operatör och personal om vilka riskerna är, användning av personlig skyddsutrustning eller genom varningssymboler på och/eller omkring området där risken finns. Ett exempel är backsignalen på truckar och lastbilar, vilka informerar personer i närheten om att föraren av fordonet backar och har skymd sikt. Om det tredje alternativet, att utbilda/informera/varna om risken inte heller reducerar risken tillräckligt är det nödvändigt att gå tillbaka till steg 1 och utvärdera gränserna vilka sattes i det steget.

Det här är även en iterativ process, vilket framgår av Figur 3.5. Efter att en identifierad risk har genomgått de fem stegen är det viktigt att börja om från början igen. Detta för att identifiera om en ny risk har uppkommit på grund av förändringen i applikationen riskreduceringen har medfört men även för att omvärdera om reduceringsåtgärden som utfördes var av tillräckligt hög kvalitet för att minska risken till en acceptabel nivå.



Figur 3.5 Figuren visar den iterativa riskbedömningsprocessen, (Svenska Institutet för Standarder, 2010). Återgiven med tillstånd

3.4.2 Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotsystem och integration (ISO 10218–2:2011)

Det finns en rad olika risker vid implementering av industrirobotar och dessa kan variera beroende på hur de är installerade, programmerade, drivs och underhålls (Svenska Institutet för Standarder, 2011). *ISO 10218–2* innehåller riktlinjer och möjliga riskkällor vilka bör undersökas i riskbedömningen. Den innehåller både direktiv som är krav och måste följas, men även direktiv som endast är en rekommendation och det finns alltså olika sätt att uppnå

säkerhetskraven. *ISO 10218–2* är andra delen av *ISO 10218* och den första delen behandlar roboten i sig, andra delen behandlar robotstationen i sin helhet. Hela avsnittet baseras på denna standard, förutom på de ställen där det hänvisas annorlunda.

Kraven på säkerhetsrelaterade delar i ett styrsystem visas genom ett värde på “performance levels” (PL) (ABB, 2012). Skalan för PL går från “a” till “e” där “a” indikerar det lägsta kravet på styrsystemet och “e” indikerar det högsta.

En kollaborativ robotstation har höga krav på styrsystemet och funktionssäkerheten hos kontrollsystem vilka använder elektronik, pneumatik, hydraulik eller mjukvara ska ha PL=d om inte riskbedömningen visar att andra kriterier är tillämpliga (Svenska Institutet för Standarder, 2011). Detta innebär bland annat att om en säkerhetsfunktion slutar fungera så ska det inte påverka övriga säkerhetskomponenter. Innan varje gång säkerhetsfunktionen utlöses ska eventuella felaktigheter kunna upptäckas, men inom rimlighetens gränser. Vid eventuella felaktigheter ska även problemet kunna åtgärdas på ett säkert sätt tills det är löst och alla felaktigheter som är rimligen förutsägbara ska kunna upptäckas.

En omfattande riskbedömning kan eventuellt medföra att ett annat värde än PL=d är tillämpligt (Svenska Institutet för Standarder, 2011). I standarden om *Säkerhetsrelaterade delar av styrningar (EN ISO 13849–1)* står det hur beräkning av PL-värde kan ske, vilket delas in i sex olika steg där första steget är att koppla säkerhetsfunktionerna till vad de praktiskt måste kunna utföra (ABB, 2012). Sedan utförs en riskbedömning av vilket PL-värde som kommer att krävas beroende på riskens allvarlighet för skadan, hur ofta/lång exponeringstid och möjlighet att undvika risken. Säkerhetsfunktionerna konstrueras därefter och följs åt av en granskning som utger dess PL-värden. Sedan verifieras det huruvida de nödvändiga PL-nivåerna har uppnåtts eller ej och till sist valideras det att rätt saker har mätts och att övriga krav har uppfyllts.

Robotstationer ska både innehålla inbyggda stoppfunktioner vilka automatiskt aktiveras vid behov och nödstoppsfunktioner vilka hanteras manuellt av operatören (Svenska Institutet för Standarder, 2011). Nödstoppsfunktionerna ska fungera även om kontrollpanelen inte är aktiv.

För att få en så korrekt bedömning av riskerna som möjligt i en riskbedömning gäller det att lämpliga metoder används och i *ISO 10218–2* listas olika typer av metoder för validering och verifikation, vilka är:

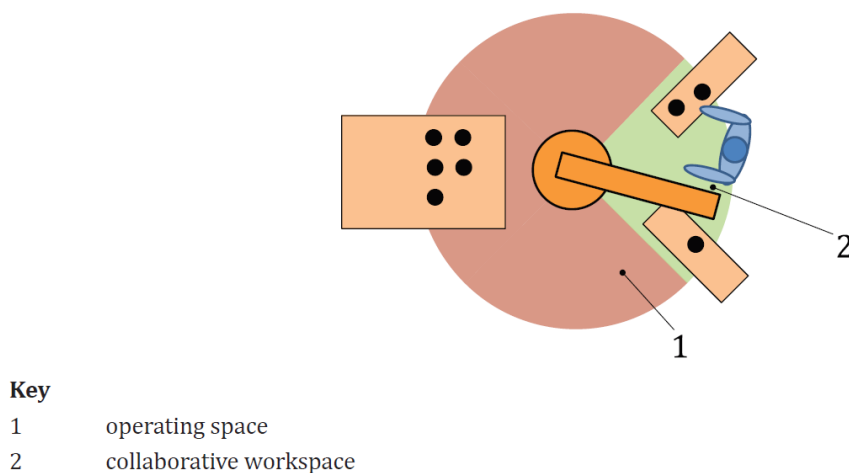
- A- Visuell inspektion
- B- Praktiska tester
- C- Mätning
- D- Observation under operation
- E- Granskning av stationsspecifika scheman, kretsscheman och design
- F- Granskning av säkerhetsrelaterad mjukvara
- G- Granskning av arbetsprocessen
- H- Granskning av ritningar och dokument
- I- Granskning av specifikationer och användarinstruktioner

I standarden listas även specifika säkerhetskrav i Annex G och vilka olika metoder för validering och verifikation som är applicerbara för att testa varje krav (Svenska Institutet för Standarder, 2011).

I användarinstruktionerna ska information ges dels hur robotstationen ska användas och vilka eventuella risker som är kopplade till olika moment, och även likande information om de ingående delarna från olika leverantörer. Detta kan uttryckas i form av exempelvis dokument, symboler och diagram. Det ska vara anpassat för den avsedda läsaren vad det gäller språket och teknisk kompetens. När det kommer till riskhantering ska eventuell nödvändig träning, skyddsutrustning och ytterligare skyddskrav belysas.

En del i användarinstruktionerna är att ta fram en instruktionsbok vilken omfattar alla delar av robotstationens livstid och som informerar om och hur användaren bör agera i olika typer av situationer. Stationen ska även märkas synligt med uppgifter såsom företagsnamn, serienummer, adress med flera.

För kollaborativa robotstationer ska arbetsytan där operatören får verka inom vara tydligt definierad, exempelvis märkning i golvet. Det ska även vara definierat vilka gränser som robotens ingående delar får röra sig inom och om den är begränsad mekaniskt eller icke-mekaniskt, där mekaniskt är fysisk begränsning och icke-mekanisk är programmeringsmässig genom kontrollsystemet. Utifrån denna avgränsning ska operatören ha minst 500 mm fritt utrymme bakåt, för att kunna avvärja eventuell fara. För ett exempel på definierade arbetsytor, se Figur 3.6.



Figur 3.6 Uppdelning av den kollaborativa arbetsytan och robotens hela arbetsyta, (Svenska Institutet för Standarder, 2016). Återgiven med tillstånd.

Vid test av stationen för att verifiera att den rör sig planerligt kan man jogga fram roboten, alltså köra programmet med en reducerad hastighet. Den reducerade hastigheten får, förutom i enligt standarden exceptionella fall, inte överstiga 250 mm/s. När detta läget är aktiverat så får robotstationen inte användas i produktion.

3.4.3 Robotar och robotutrustning - Samverkande robotar (ISO/TS 15066:2016, IDT)

Hela avsnittet baseras på *ISO/TS 15066* som är en teknisk specifikation som tagits fram för att underlätta för industrin att implementera kollaborativa robotar i deras processer (Svenska Institutet för Standarder, 2016). Det är en vidarebyggnad på de två tidigare robotstandarder som de lanserat, se Tabell 3.2. Den bygger även på en rad andra standarder som bland annat avhandlar riskbedömning (*ISO 12100*), nödstoppsfunktioner (*ISO 13850*), säkerhetsskydd (*ISO 13855*) samt generella krav för elektrisk utrustning (*IEC 60204-1*).

De två andra standarderna om robotar tog även de upp kollaborativa robotar men där den viktigaste skillnaden finns i *ISO/TS 15066*, Annex A, som definierar gränser för hur kraftfull kontakten mellan operatör och robot får vara, vilket har som utgångspunkt i vid vilken kraft eller vilket tryck som en människa börjar uppleva smärta. Människokroppen har i den undersökningen delats upp i 29 olika kroppsdelar på 12 olika kroppsregioner som sedan har utsatts för en biomekanisk last, eftersom olika kroppsdelar har olika smärtgränser.

Den här informationen har sedan använts för att härleda fram hastighetsgränser vid övergående kontakt mellan operatör och robotarm.

Vidare specificerar den här tekniska specifikationen även mer ingående olika parametrar som är viktiga att tänka på vid designen av kollaborativa miljöer och olika faromoment som är specifika för kollaborativa robotar. Till exempel nämns det att i en riskbedömning ska det uppges om kontakt mellan operatör och robot är av typen övergående (transient) eller att roboten klämmer fast operatören (quasi-static).

Det finns fyra olika arbetsmetoder för kollaboration som beskrivs i standarden. Nedan ges en kort beskrivning på de fyra.

- **Säkerhetsövervakat stopp:** En kollaborativ arbetsyta är definierad och roboten stannar helt innan en människa träder in i arbetsytan. Till exempel om operatören behöver fylla på material åt roboten eller utföra en kvalitetskontroll. Efter att operatören har lämnat arbetsytan kan roboten fortsätta utföra sitt arbete utan att något kommando till roboten behöver ges. Roboten fortsätter då att arbeta icke-kollaborativt och stannar om kommando ges eller om operatör träder in i den kollaborativa arbetsytan igen.
- **Handguidning:** Operatören visar hur roboten ska röra sig genom att driva roboten i den bana som önskas. Det sker genom att operatören manuellt för roboten i banan, vid eller i närheten av robotens verktyg och samtidigt använder en handhållen enhet som sänder rörelsemönstret till roboten. Efter att operatören har visat roboten banan kan den sedan börja arbeta icke-kollaborativt eller kollaborativt genom att använda någon av de tre andra arbetsmetoderna beskrivna.
- **Hastighets- och separationsövervakning:** Genom att tillåta ett minsta avstånd mellan robot och operatör kan de dela arbetsyta och båda kan utföra arbetsuppgifter i den kollaborativa arbetsytan samtidigt. Hastigheten på robotens rörelse avgör även hur stort separationsavståndet, det vill säga avståndet mellan operatör och robot, behöver vara för att roboten ska kunna stanna i tid. Om operatören kommer närmare än

separationsavståndet stannar roboten och återupptar inte rörelse igen förrän operatören och roboten har minst separationsavståndet mellan sig igen.

- **Kraft- och tryckbegränsning:** Den enda arbetsmetoden i standarden som beskriver hur åtgärder bör utföras om det finns en risk för kontaktsituationer mellan operatör och robot, oavsett om de är oavsiktliga eller avsiktliga. Två olika kontakter mellan operatör och robot kan ske, där den ena är övergående kontakt där operatören kan rygga tillbaka, eller dra undan kroppsdel där kontakten uppstod. Den andra beskrivs som "quasi-static contact", där operatörens kroppsdel kläms fast mellan robot och till exempel arbetsbänken. Genom att mäta kraften vid de olika situationerna som kan tänkas uppstå kan integratören också försäkra sig om att kontakten inte överskrider de maxvärden som finns i Annex A och att applikationen uppfyller kraven.

3.5 Riskbedömning

Riskbedömningen är en central och viktig del i implementeringen av en ny maskin (Svenska Institutet för Standarder, 2019 b). Den bör även genomföras så tidigt som möjligt i processen (Arbetsmiljöverket, 2019 b). Den innehåller både information om vilka risker som är förknippade med applikationen och vilka säkerhetsåtgärder som är vidtagna för att reducera riskerna samt om det finns risker där integratören har valt att inte vidtaga någon reduktion eftersom konsekvensen av risken bedöms vara tillräckligt låg.

Även om standarden *Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreduktion (ISO 12100:2010)* presenterar en generell arbetsgång för att utföra en korrekt riskbedömning finns ett antal metoder vilka ytterligare bryter ner arbetsgången vilket gör det lättare att utföra riskbedömningen. De har olika styrkor och svagheter samt är mer eller mindre användbara på olika processer. De olika metoderna är baserade på samma grundläggande arbetsgång och som en generell regel bör den metoden som ger tillräckligt med information samt är enklast att utföras väljas (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Det är viktigare att risker identifieras och tas i beaktning än precisionen i bedömningen av dem (Jespen, 2016).

För att utföra en riskbedömning behövs ett team av människor med olika expertisområde och bakgrund (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Därför krävs en tanke bakom vilka personer som ska vara med under riskbedömningen. Vissa personer kanske bara behöver vara med på vissa möten på grund av att deras expertis behövs inom en viss del av riskbedömningen medan andra behöver vara med under hela processen (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Antalet personer som behöver närvara hela tiden varierar mellan ett minimum på 3–5 personer till 10–15 personer där det anmärks på att större grupper av människor blir svårare att hålla fokuserade på uppgiften (Bergman & Klefsjö, 2012; Ostrom & Wilhelmsen, 2012). En bra blandning av kompetenser är om ledning, konstruktörer och designers av applikationen, operatörer, underhållspersonal samt skyddsombud är närvarande under riskbedömningen.

Personen som leder riskbedömningen har även en viktig roll, kallad facilitator (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Deras uppgift är att leda gruppen på rätt spår genom att vara väl införstådd i hur den valda metodiken fungerar, riskbedömningens syfte och omfattning samt att ha förmågan att förmedla det till de andra medlemmarna i teamet (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Det kan även finnas en risk att vissa medlemmar i teamet tar över gentemot andra vilket

leder till att bara vissa personers infallsvinklar lyfts fram, vilket gör att det även är facilitatorns uppgift att detta inte sker (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016).

3.5.1 Riskbedömningsmetoder

Här nedan presenteras några metoder för riskbedömning.

3.5.1.1 Brainstorming

Brainstorming är en enkel metod att använda, men som blir väldigt beroende av de deltagande personernas erfarenhet och "brainstormingförmåga" samt facilitator som kan leda gruppen åt rätt håll (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Sessionen involverar flera personer och kan vara antingen strukturerad eller ostrukturerad. I en ostrukturerad session föreslår deltagarna ideer när de kommer på något, vilket kan få till följd att bara de som pratar mycket kommer till tals. I en strukturerad session får varje deltagare komma med ett förslag när det blir deras tur. Det är även viktigt att ingen kritik framförs mot idéerna vilket kan få till följd att ett mindre antal idéer presenteras under sessionen. Kvantitet framför kvalitet söks vid den här metoden, då brainstorming ofta är ett första steg i riskbedömningsprocessen (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016).

3.5.1.2 PHA – Preliminary Hazard Analysis

Används främst i ett tidigt stadiet i designfasen för att identifiera risker, vilka sedan ska undvikas, reduceras eller elimineras genom designspecifika ändringar om det anses nödvändigt (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Underlaget kan sedan användas till andra typer av riskanalysmodeller vid mer komplicerade applikationer, eller för att genomföra en uppdaterad PHA senare i processen. Själva riskerna rangordnas specifikt efter en valbar riskbedömningsmatris och vägs mot ett utsatt värde på vad som är accepterat för en risk, för att se om ytterligare åtgärder krävs. Resultatet sammanställs i kalkylark och andra dokument. Metoden är enkel och effektiv att utföra, och kan appliceras på många olika typer av applikationer, men är som nämnt i grunden en preliminär metod som sällan går in på detaljer.

3.5.1.3 What-if/Vad händer om?

Metoden What-if utgår ifrån att deltagarna i riskbedömningen identifierar de olika riskerna med hjälp av att ställa frågor som börjar med "Vad händer om...". Applikationen delas först upp i mindre delar, vad-händer-om frågor brainstormas sedan fram av gruppen om de olika delarna. Dessa frågor besvaras sedan utifrån orsak, konsekvens och befintligt skydd (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Efter det är gjort kan ställning tas av gruppen om ytterligare åtgärder behöver vidtas för att reducera de identifierade riskerna

3.5.1.4 Hazop – Hazard and Operability studies

Hazop står för "hazard and operability analysis" och som utgår ifrån ledord i riskbedömningen (Jespen, 2016). Fokus ligger både på att identifiera risker för personskada och för operativa problem. Ledorden används för att hitta avvikelser i processen och genom dessa kan eventuella feltilstånd identifieras. Teamet bör bestå av personer med olika kompetenser, tvärfunktionellt och erfarna ledare, och själva ledorden som används beror på område. Exempel på ord kan vara "för mycket/lite", "före/efter". Resultatet redovisas i ett kalkylark och metoden är bra att använda för system som är komplexa, då den är mer detaljerad än exempelvis en What if-

analys. Det kan dock vara en relativt tidskrävande och dyr metod att använda, som vanligtvis inte heller rankar riskerna efter prioritet.

3.5.1.5 Checklist

Utgår ifrån en checklista med olika punkter på vilken har färdigställts i förhand (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Dessa ska sedan behandlas under sessionen och kan även de vara i form av strukturerade eller ostrukturerade sessioner. En stor nackdel med den här metoden är att den är väldigt avhängig av hur bra checklistan är konstruerad och att om föremål inte har tagits upp på checklistan är det stor chans att de missas helt från faroidentifieringen. Det är alltså till stor del facilitatorn av riskbedömningen samt förberedelserna innan riskbedömningen äger rum som avgör hur lyckad en checklist-bedömning blir.

3.5.1.6 What-if/Checklist

En blandning av metoderna What-if och Checklist, där ett team på samma sätt skapas bestående av erfarna ledare, personer med tvärfunktionella kompetenser. Kreativiteten från brainstorming-sessionerna kombineras med systematiken i en checklista (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Teamet får inledande riktlinjer och grundläggande information att förhålla sig till, för att utifrån det stimulera diskussionerna och identifiera risker hos applikationen. Metoden är iterativ på det sättet att diskussionerna resulterar i fler frågor som därefter analyseras och besvaras. Några fördelar med detta tillvägagångssätt är att det är flexibelt, enkelt, kräver inte någon hög grad av träning och kombinerar som nämnt kreativitet och struktur. Metoden kan dock missa vissa aspekter och risker då den är subjektiv och observationsbaserad.

3.5.1.7 Swift – Structured What-if Technique

En än mer strukturerad variant av What-if/Checklist som genom ett team utvärderar ”vad händer om-frågor” men facilitatorn genomför även intervjuer med intressenter, dokumentgranskning, informationsinsamling bland annat (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Teamet består av medlemmar från olika avdelningar inom organisationen som genomför fältundersökningar av processen. Metoden är mer detaljerad än andra What if-metoder, men inte lika detaljerad som HAZOP. Den är användbar inom många olika områden och relativt enkel att använda, men är beroende av facilitatorns kompetens samt att metoden är tidskrävande.

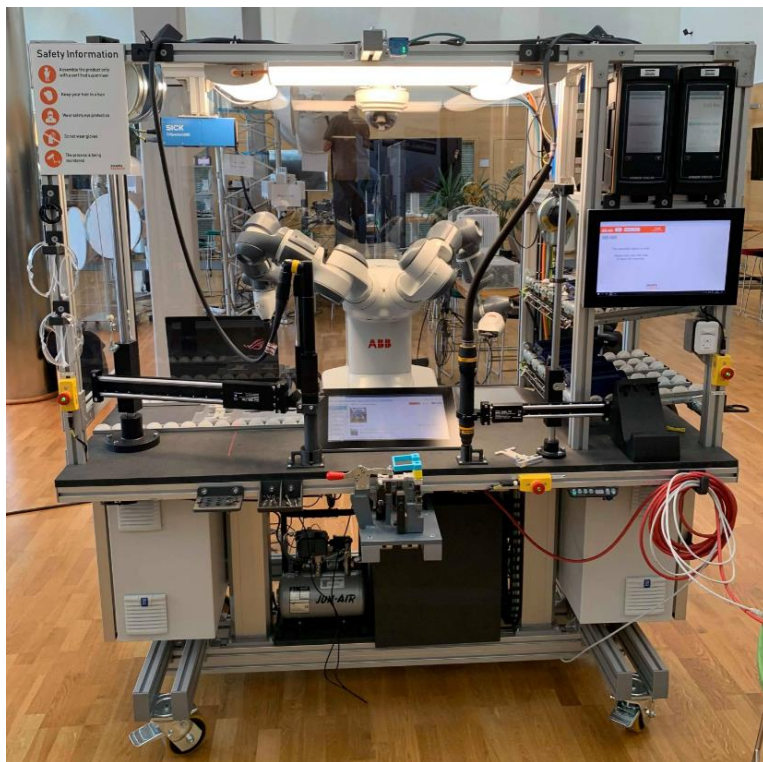
3.5.1.8 FMEA

Fullständiga namnet är felmods- och feleffektanalys vilket är en tillförlitlighetsanalys och kan användas för både produkter och processer (Bergman & Klefsjö, 2012). Arbetsgången är att beskriva funktionen av en produkt eller process, hur den kan fela, vad som är orsaken till felet samt vilka konsekvenser felet kan tänkas ge och sedan värdera felen utifrån allvarlighetsgrad, felsannolikhet samt upptäcktssannolikhet (Bergman & Klefsjö, 2012). Detta ger sedan ett ”risk priority number” (RPN) vilket avgör om reduktion behövs eller om det är överflödigt. Efter att ett RPN är beräknat och reduktion ansågs nödvändig räknas sedan RPN om genom att omvärdera de tre faktorerna för att bedöma om reduktionen var tillfredsställande.

En FMEA kan utföras i olika scenarion varvid det skiljs på konstruktions-FMEA och process-FMEA (Bergman & Klefsjö, 2012). FMEA kan även användas till andra användningsområden såsom för hela system, programvara, projekt, design, underhåll (Ostrom & Wilhelmsen, 2012; Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016). Dess mångsidighet har lett till en bred användning men även vissa nackdelar med metoden pekas ut såsom att det kan vara en dyr och tidsödande process, att synergier mellan olika faror inte bedöms och att det kan vara en svår metod att använda på komplicerade processer (Popov, Lyon, & Hollcroft, 2016).

4. Fallbeskrivning

Applikation som riskbedömningen kommer behandla i den här rapporten är en mobil arbetsstation byggd av GTC, se Figur 4.1. Den har en robot av typen YuMi från ABB mittmonterad, roboten förklaras mer i detalj senare i avsnitt 4. Bordet är även höj- och sänkbart, har två skruvdragare monterade, till- och frånförsel av material från båda kortsidorna samt diverse elektronik som måste tas i beaktning i riskbedömningen.



Figur 4.1 Bild på stationen.

GTC:s syfte med den kollaborativa robotstationen är att visa upp den på mässor och att använda den för utbildning. I dagsläget är produkten som monteras ihop i stationen en demoproduct avsedd för att visa upp ett scenario hur människan kan samarbeta med robotar i framtiden, där roboten fungerar som människans ”tredje hand”. Syftet är därmed inte att stationen ska tillverka produkter som ska säljas vidare, ej heller att tillverkningstakten ska vara tillräckligt snabb för att stationen ska kunna anses som produktiv.

4.1 Ingående komponenter

Nedan presenteras några komponenter i applikationen vilka påverkar operatörens säkerhet. För enkelhetens skull kallas de *stora skruvdragaren* respektive *lilla skruvdragaren* i rapporten då det var den benämningen personalen på GTC använde sig utav.

4.1.1 YuMi

YuMi är en tvåarmad robot utvecklad av företaget ABB och är speciellt utvecklad för kollaborativa samarbeten (ABB, 2019). Även namnet YuMi, vilket är en sammanslagning av orden ”you” och ”me” är en hint om vilken typ av applikation som tillverkarna avsåg att roboten ska verka i. YuMin lämpar sig väl för kollaborativa samarbeten på grund av dess vadderade armar samt dess låga kapacitet på 0,5kg per arm.

Tabell 4.1 Data om roboten YuMi.

Namn	IRB 14000–0.5/0.5
Antal axlar	2 armar med 7 axlar vardera
Räckvidd	559mm
Vikt	38kg
Repeterbarhet	0,02mm
Säkerhetsnivå	PL b
Användningsområde	5-40C
Ljudnivå	<70dB
Säkerhetsklassificering	CE

4.1.2 Skruvdragare

Arbetsstationen innehåller två skruvdragare, en på vardera sidan om operatören. De är fästa på momentarmar, vilka avlastar vikten samt momentkraften som uppstår när skruvdragarna används. Den stora skruvdragaren är anpassad så att robotens verktyg kan gripa tag i skruvdragaren och föra den till rätt position över produkten. Den lilla skruvdragaren används utav operatören. Tabellen nedan visar information om de båda skruvdragarna.

Tabell 4.2 Information om skruvdragarna.

	Stora skruvdragaren	Lilla skruvdragaren
Modellnamn	QST34-20CT-T50-L150-H10	ETD SR21-07-I06-PS
Ljudnivå	<70 dB	<70 dB
Säkerhetsklassificering	CE	CE

4.1.3 Kompressor

Kompressorn som finns monterad på robotstationen används i dagsläget inte till något och är därför ej upptagen i riskbedömningen.

Tabell 4.3 Information om kompressorn.

Namn	86R-4B
Tryck	16 bar
Volym	4 liter
Ljudnivå	55 dB/1m
Säkerhetsklassificering	CE

4.1.4 Vision/sensorer

Stationen är även utrustad med 3D-vision från Sick. Det är en skanner som är monterad i övre vänstra hörnet, som används för att kontrollera att hålbilden är korrekt på detaljen.

Tabell 4.4 Information om skannern.

Namn	TriSpector 1000 V3T12S-MR32A8
Arbetsuppgifter	Inspektion, positionering
Arbetsavstånd	141–541 mm
Ljuskälla	Synligt rött ljus (laser, 660 nm)
Säkerhetsklass	CE

4.1.5 Skärm

Framför YuMin finns en skärm monterad, se Figur 4.1. Vid de tillfällen fotpedalen ej används för att initiera YuMins nästa sekvens kan operatören använda skärmen till det.

4.2 Materialtillförsel

Materialtillförseln sker från båda kortsidorna av applikationen. Sett från vänster sker tillförsel av komponent ett till produkten. Dessa delar läggs på en bricka som sedan skjuvas in under plexiglasets varpå robotarmen kommer åt dem och kan behandla dem vidare, se Figur 4.2.



Figur 4.2 Materialingång för komponenter.

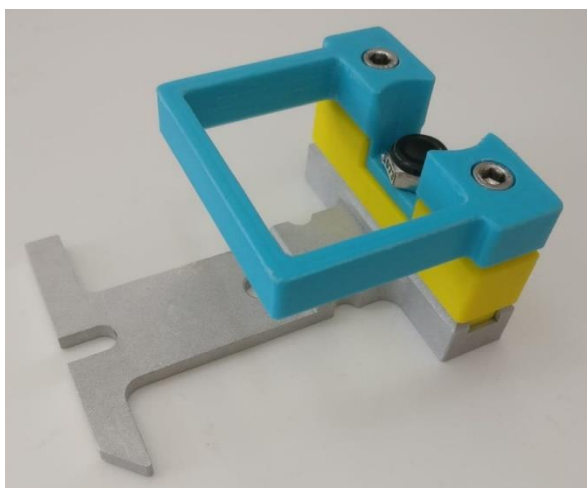
Sett från höger är ett materialställ med lådor i. Dessa lådor är till två av komponenterna till produkten. Materialstället och lådorna är även konstruerade på ett sådant sätt att robotarmen kan ta lådorna från materialstället och visa upp de för operatören. Operatören behöver då inte gå någonstans för att hämta de delar som behövs för att montera ihop en produkt, materialstället visas på Figur 4.3.



Figur 4.3 Materialställ med tillhörande lådor.

4.3 Produkten

Produkten består av tre olika komponenter samt två fjädrar och tre skruvar. De två fjädrarna är placerade mellan den gula och silvriga delen. De fyller ingen egentlig funktion hos produkten, utan är till för att detaljen ska bli mer svårmonterad, vilket motiverar valet att använda roboten som en tredje hand.



Figur 4.4 Färdig detalj.

Det finns även tre olika varianter av den blåa komponenten, se Figur 4.5. De har dock liten eller ingen påverkan på riskbedömningen då monteringsförfarandet inte skiljer de tre varianterna åt. Operatören behöver däremot välja vilken av varianterna som roboten ska leverera.



Figur 4.5 De tre olika varianterna på den sista komponenten.

4.4 Arbetsprocessbeskrivning

1. Arbetsprocessen börjar med att operatören tar på sig en arbetsjacka som har ett chip i ena ärmen. Detta chip visas upp för en sensor som sitter på stationen.
2. Beroende på storleken på jackan (S-L) ställer det höj- och sänkbara bordet in sig på förprogrammerad höjd.
3. Operatören aktiverar sedan robotens första sekvens genom att trycka på pedalen på golvet, alternativt på skärmen. Denna pedal används för att initiera alla robotens rörelser, roboten fortsätter inte med nästa sekvens om inte operatören aktivt tryckt på pedalen.
4. Roboten tar sedan första komponenten från brickan som är placerad på robotens högra sida.
5. Roboten visar upp komponenten för skannern som avläser om hålbilden är korrekt.
6. Därefter placerar roboten komponenten på monteringsfixturen.
7. Operatör fäster tvingen samt placerar de två fjädrarna.
8. Nästa sekvens för roboten är att hämta en låda från materialstället innehållandes nästa komponent.
9. Efter att operatören placerat komponent 2 på rätt plats hämtar roboten en ny låda med komponent 3. Genom att klicka på ett av alternativen som visas på skärmen väljer operatören vilken variant av komponent 3 roboten ska hämta.
10. Därefter placerar operatören skruvarna i produkten.
11. Samtidigt som operatören håller detaljen stadig tar roboten den stora skruvdragaren och skruvar i den mittersta skruven.
12. Vid det avslutande steget använder operatören den mindre skruvdragaren och drar åt de återstående skruvarna samt lossar den färdiga detaljen.

5. Resultat

I detta kapitel redovisas resultatet av undersökningen. Då forskningsfrågorna ej endast besvaras i resultatkapitlet visar Tabell 5.1 var i rapporten de olika forskningsfrågorna besvaras.

Tabell 5.1 Tabell över var i rapporten de olika forskningsfrågorna besvaras.

Forskningsfråga	Resultat	Hänvisning	Förklaring
1. Vad definieras som en kollaborativ robot?	Insamling av teori.	3.1 Kollaborativa robotar Diskussion	Definitionen är fakta återfinns därför i teoridelen.
2. Vad krävs för att CE-märka en kollaborativ robotstation?	Applikationens definition fastställd, insamling av direktiv och standarder, riskbedömning, insamling av teknisk dokumentation.	5.2 Mall för tillvägagångssätt för CE-märkning av kollaborativa robotapplikationer Diskussion	Resultatet är en bred förklaring hur tillvägagångssättet bör se ut och vad som bör tas i åtanke
3. Hur ser en riskbedömning av en kollaborativ robotstation ut?	Praktiskt resultat efter fallstudien.	5.1 Riskbedömning Diskussion	Bedömningen av riskerna finns sammanställt i rapporten. Hela riskbedömningsdokumentet finns tillgängligt hos GTC.
4. Hur utförlig bör riskanalysen vara?	Praktiskt resultat efter fallstudien, diskussion.	5.2 Mall för tillvägagångssätt för CE-märkning av kollaborativa robotapplikationer Diskussion	Beror på ett flertal faktorer där det viktigaste är att alla möjliga risker identifieras.

5.1 Riskbedömning

I resultatdelen presenteras enbart tre av de identifierade riskerna, i riskbedömningen behandlades däremot 32 antal potentiella risker, se bilaga 1. Anledningen att enbart tre valdes ut är för att det annars hade blivit alltför omfattande att ta med i rapporten.

De risker vilka presenteras och varför är:

- Åtkomst från sidan:
En risk vilken medförde en riskreduktion under projektets gång.
- Klämrisk vid höj- och sänkbar bord.
Förändring GTC gjorde i designstadiet vilket senare visade sig medföra en ny risk.
- Klämrisk mellan robotens verktyg samt ovansida av handen på operatören.
Kollisionsrisk mellan operatör och robot.

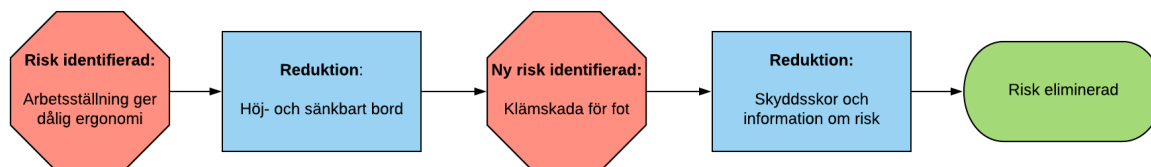
En risk som identifierades under projektets början var att det var möjligt att komma åt roboten från sidan där ena materialtillförseln är. Att stationen är avsedd att kunna flyttas och visas upp på mässor innebär att stationen inte alltid kommer vara placerad mot en vägg. Att den är avsedd att visas upp på mässor innebär även att stationen kan komma att omges av människor utan tidigare vana av robotar eller dess säkerhet, vilket gjorde att risken gavs en hög faktor. Åtgärden blev att plexiglas monterades, med en liten lucka vilken fortsatt möjliggör materialtillförseln, se 4.2 Materialtillförsel. Det här eliminerade risken och medförde att den fick ett tillräckligt lågt värde för att klassas som försumbar, se Figur 5.1.

Riskidentifikation		Risk nr.	13
Titel	Åtkomst från sidan		
Berörd kroppsdel	Armar och händer		
Aktivitet	Rimligen förutsebar felanvändning		
Uppgift			
Risktyp	Klämm- och krosskador		
Beskrivning	På grund utav att stationen är mobil möjliggör dess placering åtkomst från sidan där materialtillförseln är. Inga arbetsmoment är identifierade från sidan under stationens normala drift vilket gör att de här riskerna helt kan elimineras.		
Referenser:	ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	2,5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	4	Frequency And/or Duration of Exposure:	3
Pilz Hazard Rating (PHR):	90	Summary Level:	Signifikant risk
Riskreduktion			
Monterat plexiglas, se bild. Åtgärden eliminerar risken tillräckligt. En smal lucka finns där materialtillförseln är, men att någon sträcker in armen genom luckan ses som osannolikt på grund av luckans smala utformning			
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	0,05	Frequency And/or Duration of Exposure:	2
Pilz Hazard Rating (PHR):	0,225	Summary Level:	Försumbar risk

Figur 5.1 Risk nummer 13. Åtkomst från sidan. (Mathieu, 2016) Omarbetad med tillåtelse.

Ett exempel på en riskreduktion vilken medförde en ny risk är det höj- och sänkbara bordet. Det höj- och sänkbara bordet leder till att fler personer erhåller en ergonomiskt fördelaktig

arbetsställning. Men klämrisk identifierades mellan stationens aluminiumprofiler och styrskåpen när bordet sänks, se arbetsgång i Figur 5.2. Reduktionen för den nya risken består i att skyddsskor bör användas samt att en varningssymbol bör placeras synligt så att operatören blir medveten om risken. Risken visas på Figur 5.3.



Figur 5.2 Arbetsgång där en riskreduktion leder till att ny risk identifieras.

Riskidentifikation			Risk nr.	7
Titel	Sänkning av arbetsbord			
Berörd kroppsdel	Fot			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Sänkning av arbetsbord			
Risktyp	Krosskador			
Beskrivning			För att operatören alltid ska kunna ha en ergonomiskt fördelaktig arbetsposition går bordet att höja och sänka. Operatören skannar in sig genom att visa upp en tagg för sensorn fäst på högersidan av stationen. Därefter sänks bordet till förinställd position där taggen i jackan anger hur lågt bordet ska vara. Om operatören placerar foten mellan aluminiumramen och elskåpet när bordet sänks finns det risk att operatörens fot krossas.	
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	5	Possibility of Avoidance:	5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	125	Summary Level:	Signifikant risk	
Riskreduktion				
Skyddsskor är ett krav. Varningssymboler rekommenderas även.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,25	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	3,125	Summary Level:	Försumbar risk	

Figur 5.3 Risk nummer 7. Klämrisk med höj- och sänkbart bord. (Mathieu, 2016) Omarbetad med tillåtelse.

Varje scenario i arbetsprocessen där kontakt mellan operatör och robot kan uppstå identifierades även som en risk. Figur 5.4 visar ett av dessa scenarion, klämrisk mellan robotens verktyg samt ovansidan av handen på operatören.

Riskidentifikation		Risk nr.	1
Titel	Detaljhämtning		
Berörd kroppsdel	Hand		
Aktivitet	Normal operation		
Uppgift	Hämtning av detalj Lämning av detalj		
Risktyp	Kollision och kross/klämskador		
Beskrivning		Robotarmen plockar en del med den högra armen från materialstället för att sedan sätta den på monteringsfixturen. Roboten startar endast sekvensen efter att operatören utfört en knapptryckning med foten. Kollisionsrisk mellan robotens verktyg och operatörens ovansida av hand. Efter kraftmätning uppnåddes godkända värden enligt ISO/TS 15066 med en hastighet på 80mm/s. Kraften blev då 16N vid quasi-static kollision, trycket blev 194 N/cm².	
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218	
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	0,75
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	4
Pilz Hazard Rating (PHR):	3,75	Summary Level:	Försumbar risk
Riskreduktion			
Ingen riskreduktion krävs			
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a

Figur 5.4 Risk nummer 1. Klämrisk mellan robotens verktyg och operatörens hand. (Mathieu, 2016) Omarbetad med tillåtelse.

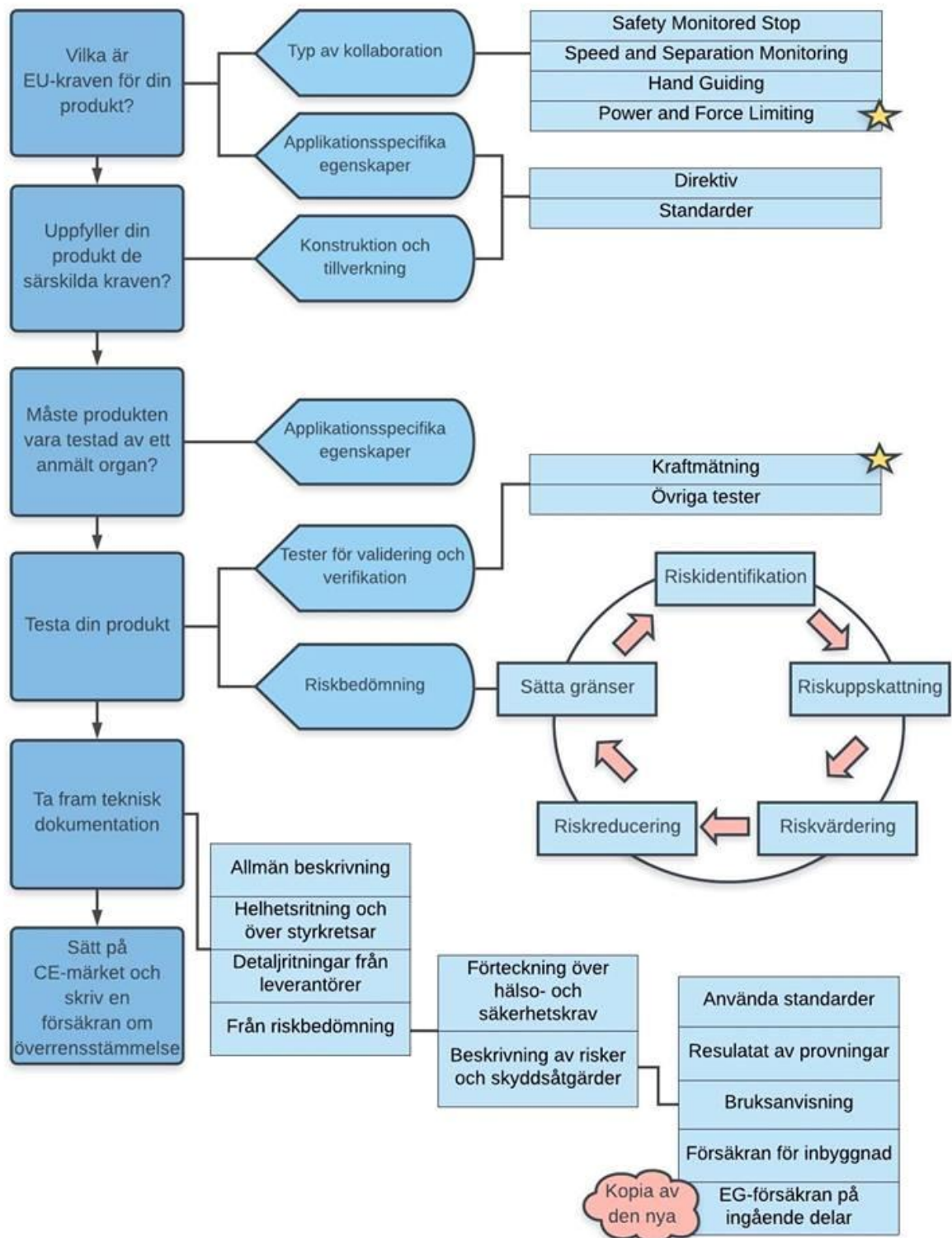
5.1.1 Resultat från kraftmätningen

Under kraftmätningen utfördes fyra olika mätningar, se metodavsnitt för vilka dessa är. Nedan visas en tabell över gränsvärdena från ISO/TS 15066, det uppmätta värdet samt robotens hastighet. Alla mätningar utom nummer fyra var av typen där operatören kläms fast utav roboten.

Tabell 5.2 Resultat av kraftmätning.

Scenario	1	2	3	4
Gränsvärde kraft [N]	280	280	280	130
Uppmätt kraft [N]	27	27	19	11
Gränsvärde tryck [N/cm]	200	260	280	110
Uppmätt tryck [N/cm]	194	217	100	91
Hastighet [mm/s]	80	80	80	40

5.2 Mall för tillvägagångssätt för CE-märkning av kollaborativa robotapplikationer



Figur 5.5 Mall för tillvägagångssättet för CE-märkning av kollaborativa robotapplikationer.

Mallen för tillvägagångssättet grundar sig i de sex stegen från Europeiska Kommissionen, se avsnitt 3.2 CE-märkning för mer information om de olika stegen. I de ingående stegen står de punkter vilka har framkommit under arbetets gång, vilka är viktiga att ta hänsyn till när det är kollaborativa robotapplikationer som ska CE-märkas.

Steg 1

För att veta kraven på produkten som ska tillverkas krävs det en granskning utav vilken typ av applikation som ska tillverkas. Kollaborativa robotapplikationer kan ha olika typer av samarbeten mellan robot och operatör, vilket kommer att påverka säkerhetsarbetet. Dessa förklaras närmare i 3.4.3 Robotar och robotutrustning - Samverkande robotar (ISO/TS 15066:2016, IDT). Power- and force limiting skiljer sig från de övriga metoderna då det är den enda där det kan ske oavsiktlig fysisk kontakt mellan operatör och robot, vilket gör att metoden antingen kräver att en kraftmätning utförs, alternativt en robot vilken mäter kraften den genererar. Valet av arbetsmetod avgörs utefter avsedd användning och resursnyttjande. Företaget bör även föra samtal med medarbetarna kontinuerligt under projektets gång för att de ska känna sig trygga med den nya tekniken som införs. Samt att företaget bör utbilda operatörer och andra personer vilka arbetar i närheten av den kollaborativa roboten.

Typen av applikation avgör även vilka direktiv som måste följas och standarder som bör följas vid arbete med säkerheten för att kunna intyga att stationen är säker. Tillverkaren bör ta kontakt med *Arbetsmiljöverket* och *SIS* för att veta vilka direktiv och standarder som gäller för den specifika applikationen. Juridiskt sett ska kraven i dessa direktiv vara uppfyllda för att applikationen ska vara godkänd. För kollaborativa robotstationer gäller alltid *Maskindirektivet*, *EMC-direktivet* och *Lågspänningsdirektivet*, vilka går att läsa om i avsnitt 3.3 Direktiv. Det kan vara fler direktiv som ska följas beroende på applikationens egenskaper. Standarder används som hjälp för att bryta ned direktiven och koppla applikationsspecifika faktorer till dessa, för att kunna följa lagstiftningen. Standarder som bör användas vid kollaborativa applikationer är:

- *Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 1: Robotar (ISO 10218-1:2011)*
- *Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotsystem och integration (ISO 10218-2:2011)*
- *Robotar och robotutrustning - Samverkande robotar (ISO/TS 15066:2016)*
- *Säkerhetsrelaterade delar av styrsystem - Del 1: Allmänna konstruktionsprinciper (EN ISO 13849-1)*
- *Allmänna konstruktionsprinciper – Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010)*

Fler standarder kan och bör användas beroende på applikationens egenskaper.

Steg 2

När tillverkaren vet vilka direktiv och standarder som ska följas kan arbetet med produktens konstruktion och tillverkning börja gentemot dessa. Tillverkaren väljer själv när riskbedömningsarbetet startar men då en riskbedömning bör starta så tidigt som möjligt i

processen kan den genomföras redan innan tillverkningen börjar. Detta för att kunna identifiera risker som kan undvikas genom att direkt konstruera bort dem, istället för att tillverka stationen och sedan behöva reduktionsåtgärda riskerna. En PHA kan vara lämplig att genomföra i tidigt stadiet, se avsnitt 3.5.1.2 PHA – Preliminary Hazard Analysis. Den preliminära riskbedömningen kan sedan följas upp med en mer grundlig riskbedömning med samma eller med en annan metod.

Vid konstruktionen finns det ett antal områden vilka en tillverkare bör ta extra hänsyn till vid kollaborativa applikationer. Robotens verktyg, monteringsfixturen, produkten som förädlas och andra delar som operatören kan komma i kontakt med bör exempelvis inte innehålla några vassa kanter.

Valet av själva roboten är av stor vikt då några kan ha inbyggda säkerhetsfunktioner såsom kraftmätning och är designade utan vassa kanter. En mindre robot genererar även lägre kinetisk energi än en större robot vid samma hastigheter, vilket också kan göra applikationen säkrare.

En annan designaspekt att ha i åtanke är om det är möjligt att till viss del skärma av roboten. Det förhindrar dels kollisionriskerna från de håll som är avskärmade samt förhindrar obehöriga tillträde till robotens arbetsområde. I en industri kan det röra sig många människor med olika kunskapsnivå. Även om operatören vid stationen vet hur roboten fungerar och dess rörelser är det viktigt att även ha i åtanke de personer som normalt inte arbetar vid stationen eller med kollaborativa robotar. Viktigt att tänka på är även att avskärmningen kan tillföra nya risker såsom klämrisker. Vid avskärmning kan standarden *Maskinsäkerhet - Minimiutrymmen för att undvika att kroppsdelar krossas* vara fördelaktig att använda.

I designen bör operatörens och robotens arbetsytor vara definierade. Beroende på applikationens funktion kan dessa arbetsytor också separeras genom tekniska lösningar för att underlätta säkerhetsarbetet. Roboten kan då känna av när operatören är inne i ”fel” zon och stanna eller arbeta med sänkt hastighet. Det här kan ske med till exempel laser, radar eller en tryckkänslig matta vilka känner av när operatören är för nära. För hjälp med beräkning av avstånd till de olika zonerna finns standarden *Maskinsäkerhet - Placering av tekniska skydd beroende på kroppsdelars hastigheter (ISO 13855:2010)*.

Kollaborativa zoner vilka är avsedda för fysisk samverkan mellan operatör och robot kan även definieras. I dessa zoner kan roboten begränsas genom att en maxhastighet ställs in vilken är generellt säker för de flesta typer av moment och produkter. Det här gör att applikationen blir mer flexibel och det blir mindre säkerhetsarbete vid förändringar. Den tänkta hastigheten i dessa zoner kan verifieras genom kraftmätning. Se Figur 3.6 för exempel på hur arbetszonerna kan utformas.

Steg 3

Kollaborativa robotapplikationer behöver inte testas av ett kontrollorgan men det kan finnas applikationsspecifika egenskaper som medför att de behöver det. I bilaga 4 i *Maskindirektivet* står det vilka typer av maskiner som behöver kontrolleras av ett kontrollorgan och dessa är bland annat cirkelsågar, planhyvlar, olika sorters sågar, bärbara motorkedjesågar, pressar, bultpistoler och skyddsanordningar för detektering av personer. För de fall där applikationen

ej behöver kontrolleras av en oberoende organisation är tillverkaren ansvarig att direktiven följs. Vid eventuell nödvändig kontroll avgör *SWEDAC* och ansvarig myndighet för *Maskindirektivet* vilken organisation som blir kontrollorgan.

Steg 4

I steg nummer fyra genomför tillverkaren riskbedömningen för att bedöma säkerheten hos applikationen och om den uppfyller kraven som ställs i direktiv och standarder. Det finns olika typer av riskbedömningsmetoder, vilka alla baseras på de fem stegen i standarden om riskbedömning (*ISO 12100*). Riskbedömningen startar med att tillverkaren sätter gränser för applikationen och följer sedan den riktning vilken hänvisas i Figur 5.5, det vill säga riskidentifikation, riskuppskattning, riskvärdering och riskreduktion. Vid eventuell reduktion krävs en ny bedömning och då börjar processen om till dess att applikationen anses säker och att samtliga risker har behandlats. Mer om riskbedömningsmetoder finns under avsnitt 3.5.1 Riskbedömningsmetoder och mer om riskbedömning generellt finns under avsnitt 3.4.1 Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (*ISO 12100:2010*). En aspekt i riskbedömningen är att operatörer inte bara ska vara säkra, de ska även känna sig säkra.

För att verifiera och validera att applikationen är säker kan tester utföras och dokumenteras. Vilka tester som bör utföras beror på applikationens egenskaper och på resultatet av riskbedömningen. Kollaborativa robotstationer som inte har en robot vilken mäter krafter och arbetar med power- and force limiting behöver genomföra en kraftmätning för att verifiera att krafterna inte blir för stora. De kan utföras av tillverkaren själv om utrustning finns eller av en utomstående part som har lämplig utrustning. Mer om kraftmätning finns i avsnitt 2.3.3 Kraftmätning.

Steg 5

En stor del i arbetet är att ta fram teknisk dokumentation så att den är tillgänglig. Det ska finnas heltäckande dokumentation på applikationen och på alla ingående delar för att verifiera att dessa är godkända enligt lagstiftning. Den tekniska dokumentationen innehåller en allmän beskrivning av applikationen med dess egenskaper och syfte, helhetsritning och ritningar över styrsystem, detaljritningar på ingående delar från leverantörer och dokumentation från riskbedömningen.

Dokumentationen från riskbedömningen ska innehålla:

- En förteckning över de hälso- och säkerhetskrav som ställs på applikationen, vilket innebär en hänvisning till de direktiv och standarder som har använts
- Det ska vara beskrivet vilka risker som tillkommer med applikationen och de skyddsåtgärder som vidtagits för att reducera eller eliminera dessa
- Resultat av eventuella tester som utförts
- En bruksanvisning
- Försäkran för inbyggnad
- EG-försäkran på ingående delar samt en kopia av EG-försäkran på applikationen som beskrivs i steg 6

Anvisningar och vad som ska ingå i en bruksanvisning står i *Maskindirektivet*, bilaga 1, samt kapitel 7 i både *Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotsystem och integration (ISO 10218–2:2011)* och *Robotar och robotutrustning - Samverkande robotar (ISO/TS 15066:2016)*.

Steg 6

I sista steget ska tillverkaren fästa ett CE-märke på produkten och skriva en försäkran om överensstämmelse kallad EG-försäkran, vilket är ett dokument där tillverkaren intygar att produkten är i överensstämmelse med hälso- och säkerhetskraven.

CE-märket ska vara utformat och fäst på ett visst sätt. Beskrivning och bild finns i avsnitt 3.2. EG-försäkran är en blankett som ska utformas för varje direktiv som använts. Anvisningarna till hur dokumenten ska se ut finns att hitta i direktiven. Specifikt för kollaborativa robotapplikationer finns det i *Maskindirektivet* i bilaga 2.

6. Diskussion

Kapitlet om diskussion är indelat i ett avsnitt som diskuterar de fyra frågeställningarna som studien avser att svara på. Andra delen diskuterar dels metoden vilken användes vid riskbedömningen, samt även resultatet av riskbedömningen.

6.1 Diskussion utifrån frågeställningarna

Nedan diskuteras de fyra frågeställningar vilka studien haft i avsikt att besvara.

Frågeställning 1: Vad definieras som en kollaborativ robot?

Utav de fyra olika arbetsmetoderna vilka beskrivs i ISO/TS 15066 är det enbart den sista, ”power and force limiting”, vilken beskriver en verkligt kollaborativ arbetsmetod. De tre andra beskriver istället arbetsmetoder hur det går att implementera en robot utan bur omkring sig. Dessa metoder ses dock fortfarande som kollaborativa. Både under litteraturstudien samt det praktiska momentet med intervjuer framkom det att applikationer där roboten agerar som en ”tredje hand” är sällsynta i industrin.

Att det inte finns så många exempel på dessa applikationer i industrin kan bero på de relativt låga värdena på kraft och tryck som anges i den tekniska specifikationen för kollaborativa robotar. Kravet på kraft var inga problem att uppfylla i stationen under kraftmätningen, men vid mätning av tryck blev det även vid låga robothastigheter (<100mm/s) högre än gränsvärdena då trycket även tar hänsyn till hur stor arean är vilken påverkas av kraften. Om trycket ska ligga under gränsvärdena ställer det höga krav på både monteringsfixtur, robotens verktyg samt produkten som ska processas i applikationen att de har mjuka rundade former så att ytan blir så stor som möjligt vid en eventuell kollision. Det blir således svårt att ha en produktiv kollaborativ robotstation om dessa gränsvärden inte får överstigas.

Frågeställning 2: Vad krävs för att CE-märka en kollaborativ robotstation?

Enkla svaret på frågan är att följa de direktiv och standarder vilka är tillämpliga på den kollaborativa applikationen.

Att ge ett mer utförligt och direkt svar är betydligt svårare. De olika direktiven en tillverkare för en särskild produkt måste ta hänsyn till är någorlunda lätta att identifiera. Direktiven är däremot svåra att tyda samt att veta med säkerhet när de är uppfyllda. Det gör att arbetet med standarder är oundvikligt om en tillverkare vill vara förvissad om att produkten följer gällande lagstiftning och att produkten är säker att använda.

Att med säkerhet veta vilka standarder som en produkt eller applikation innefattas av är ett större problem. Standarden ”*Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotsystem och integration (ISO 10218-2:2011)*” är baserad på information från 22 andra standarder till exempel. Om en kollaborativ applikation innefattar ett antal olika arbetsmoment såsom limning och svetsning ökar även antalet standarder som applikationen innefattas utav. Standarderna är relativt lätta att läsa och förstå, men de innehåller mycket information vilket innebär att någon viktig punkt kan missas som är kritisk för säkerheten.

Det krävs därför en väldigt god kännedom om ett väldigt stort område. CE-märkning är även en omfattande process vilket kräver mycket kunskap om vad som är erforderligt. Det står tydligt i de olika direktiven vilken teknisk dokumentation som krävs, men det står inte när olika sorters provningsrapporter eller beräkningar krävs samt hur detaljerade de olika ritningarna bör vara.

Det finns dock hjälpmedel för företag vilka tänker börja arbeta med CE-märkning bör överväga att använda. Kurser om CE-märkning anordnade av företag med god kunskapsbakgrund kan vara en bra start. Det finns även programvaror vilka förenklar processen, dels program som riktar in sig på hela CE-märkningsprocessen, men även programvaror vilka är till för mer specifika delar såsom PL-beräkning.

Frågeställning 3: Hur ser en riskbedömning av en kollaborativ robotstation ut?

Att hitta mallar samt metoder för riskbedömning var inte svårt. Standarden för riskbedömning *Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010)* var även konkret att följa samt att det fanns flertalet bra listor vilka underlättade arbetet med riskbedömningen. Den mall som användes hade även tydliga skalor på de fyra olika faktorerna vilket underlättade värderingen då värderingen upplevdes relativt subjektiv. Data fanns ej att tillgå om de olika riskerna, vilket innebär att om olika personer värderar samma risk kan utfallet bli annorlunda, en avvikelse som minskar desto tydligare skalorna blir på den riskbedömningsmetod som används.

De olika metoderna vilka har listats i den här rapporten gör även att riskbedömningen kommer skilja sig lite beroende på vilken metod som används, men då metoderna grundar sig i stegen från ISO 12100 styrs kvalitén på riskbedömningen framförallt av kunskapen från personerna som deltar i riskbedömningsarbetet. Därför rekommenderas att använda den sorts metod facilitatorn har tidigare erfarenhet utav eller tycker är enklast att använda under rådande förutsättningar.

En riskbedömning är applikationsstyrd. Även om viss kunskap och information går att överföra till nästa riskbedömning är det framförallt applikationens helhet som styr säkerhetsarbetet. Arbetet förenklades även av att roboten vilken är monterad på stationen inte har högre kapacitet än 0,5kg. Riskbedömningen hade troligtvis blivit svårare samt att riskerna blivit högre värderade om roboten hade haft en högre kapacitet. Det betyder inte att alla företag rekommenderas att köpa in en robot med en så låg kapacitet, då det kan bli svårt att identifiera användningsområden för den. De bör dock ha i åtanke att desto kraftigare robot som ska samverka med människan, desto farligare blir de potentiella riskerna också.

Frågeställning 4: Hur utförlig bör riskanalysen vara?

Enkla svaret på frågan är att alla riskkällor och risker vilka finns associerade med applikationen ska tas i beaktning. Att identifiera alla risker under hela applikationens livscykel, samt de risker vilka kan uppstå på grund av ”rimligen förutsebar felanvändning” kräver både en god kännedom om hur människor kommer att bete sig i närheten av applikationen samt en god kännedom om applikationen i fråga. Det blir tydligt att det krävs ett team med olika bakgrund och kunskapsområde när en riskbedömning ska utföras, oavsett vilken sorts applikation den

riktar sig mot. Då momentet att identifiera möjliga risker är viktigare än att göra en precis bedömning av dem, tas även risker vilka kan avfärdas som försumbara utan en kvantitativ värdering med i riskbedömningen. Detta för att visa på att tillverkaren även tagit hänsyn till de riskerna i säkerhetsbedömningen av applikationen eller produkten.

Den här rapporten har även pekat ut några områden där det är viktigt att lägga extra hänsyn när personsäkerheten ska garanteras vid kollaborativa applikationer. Dessa är:

- Produkten som ska processas
- Robotens verktyg
- Monteringsfixturen
- Vilka säkerhetskomponenter som används

Ett annat problemområde vilken framkom under undersökningen var problemet att verifiera mjukvara. Det vill säga att säkerställa att mjukvaran och kodningen inte innehåller några buggar. Komplexitet i programmeringen medför dock att det krävs väldigt omfattande arbete för att verifiera detta och det går inte att säkerställa helt att systemet är buggfritt då felaktigheterna är dolda, vilket medför en säkerhetsrisk för kollaborativa robotstationer.

6.2 Metodanalys

Anledningen till att metoden ”What-if/Checklist” valdes för riskidentifikationsmomentet är att den beskrevs relativt enkel att använda och då projektgruppen varken har utbildning eller tidigare erfarenhet av att leda en riskbedömning kändes det som ett bra alternativ. Att först börja med att brainstorma fram olika frågor vilka ska besvaras och sedan gå igenom en checklista med olika moment medförde att vissa risktyper övervägdes flera gånger vilket borde innebära en minskad sannolikhet att någon viktig risk missades under riskidentifikationen. Det finns däremot inget självklart alternativ att välja för alla olika kollaborativa applikationer utan det bör styras av erfarenhet. Om personen ansvarig för riskbedömningen är en van användare av en annan metod, exempelvis FMEA eller HAZOP, bör den metoden användas. Mest troligt kommer samma risker identifieras, men med ett annorlunda tillvägagångssätt.

Riskbedömningsarbetet bör börja så tidigt som möjligt i en applikations tillverkningsstadie. Detta för att kunna dokumentera de risker som reducerats i konstruktionsstadiet av robotapplikationen och ha större påverkan på konstruktionen i sig för att göra den säker. Arbetet med riskbedömning startade i implementeringsfasen av GTC’s robotstation, vilket innebar begränsade möjligheter att påverka konstruktionen. Det var dock i ett stadie där den preliminära arbetsgången instruerades av en handledare utan att roboten var aktiv. Detta gav endast en helhetsbild, där detaljer om arbetsprocessen uteblev och kan ha påverkat bedömningen av stationen.

Under riskidentifieringen skedde en brainstorming-session där flera av personerna från GTC vilka tillverkat stationen närvarade, men riskerna bedömdes och värderades till största del utan representanter från GTC. Vi rekommenderar därför GTC att gå igenom de risker som identifierats, så att de försäkras om att ingen risk de anser allvarlig har undervärderats. Av det studien visar anses stationen vara säker för användare om de åtgärder och rekommendationer som framkommer om de olika riskerna följs.

7. Slutsats

En riskbedömning har genomförts med sammanlagt 32 identifierade risker, där fyra kollisionstester genomfördes och en kraftmätning vilken verifierade och validerade att värdena på kraft och tryck i testerna inte var för höga. Kraftmätningen innebär även att GTC har en maxhastighet att hålla sig under vid de kollaborativa momenten, vilket underlättar om arbetsprocessen eventuellt förändras i framtiden.

Arbetet med riskbedömningen har lett till flertalet diskussioner med GTC om säkerhet. Flera säkerhetsbrister har identifierats varav vissa har reducerats efter rekommendationer, exempelvis plexiglas på stationens sida och baksida. Det finns även andra rekommenderade åtgärder i riskbedömningen vilket GTC bör ta i beaktning.

Det är fortfarande en lång väg kvar för GTC att CE-märka deras kollaborativa robotstation och den här rapporten har inte undersökt om kraven för lågspänningsdirektivet samt direktivet om elektromagnetisk kompatibilitet uppfylls samt att en bruksanvisning behöver skrivas och den tekniska dokumentationen samlas ihop.

Riskbedömning i tidigt skede ger möjlighet att åtgärda problem enklare och blir billigare än om den börjar i ett senare skede i en produkts livscykel. Det är dock svårt att veta exakt hur applikationen kommer bli i slutändan, vilket medför att detaljer kan bli exkluderade i detta stadiet. För att kunna ta del av fördelarna från båda dessa arbetssätt blir slutsatsen att riskbedömningsarbetet bör starta direkt och finnas med genom hela tillverkningsprocessen.

Området är även väldigt stort, det här arbetet har bara skrapat på ytan inom området. Att då dra generella slutsatser om kollaborativa applikationer blev en utmaning. Detta beror delvis på att det kan skilja väldigt mycket mellan olika applikationer ifråga om syfte, omgivning, vilken robot som används, vilken övrig teknik som används och så vidare. Därför har mallen för tillvägagångssättet blivit väldigt generell och kanske inte så funktionell vi hoppades på i början av projektet.

Under arbetets gång har flera olika områden vilka behöver vidare forskning identifierats. Ett alternativ är att utföra en observationsstudie där ett antal projekt med fullständiga CE-märkningar av kollaborativa applikationer observeras samt dokumenteras för att upptäcka skillnader och likheter i förfarandet.

Det bör även undersökas vilka produkter som lämpar sig för kollaborativa arbeten och hur robotens verktyg ska utformas så att det är säkert för en operatör. Det finns även en mängd produkter för att erhålla säkerhet för människan. Någon slags undersökning om vilken sorts teknik som lämpar sig bäst för ändamålet är fördelaktigt.

Mer forskning bör även ta större beaktning om vad som gör de olika robotarna kollaborativa, något som till stor del saknats i den här undersökningen.

Referenser

- ABB. (2012). *Säkerhet i styrsystem enligt EN ISO 13849-1*. Hämtat från https://library.e.abb.com/public/bfae376b71a1cd1fc12579e50033d916/Introduction_to_EN_ISO_13849_SE_2TLC172003B3401.pdf
- ABB. (2019). *ABB*. Hämtat från IRB 14000 YuMi: <https://new.abb.com/products/robotics/sv/industrirobotar/yumi> Hämtad den 16 05 2019
- Arbetsmiljöverket. (2017). *Maskiner. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om maskiner samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna (AFS 2008:3)*. Arbetsmiljöverket.
- Arbetsmiljöverket. (2019 a). *Maskiner*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/maskiner-och-arbetsutrustning/maskiner/> Hämtad den 20 02 2019
- Arbetsmiljöverket. (2019 b). Hämtat från Säkra maskiner: <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/broschyrer/sakra-maskiner-om-regler-for-maskiner-broschyr-adi438.pdf> Hämtad den 20 02 2019
- Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P., & Scholtz, O. (2016). *Lightweight robots in manual assembly – best to start simply!* Stuttgart: Fraunhofer Institute for Industrial Engineering IAO.
- Bergman, B., & Klefsjö, B. (2012). *Kvalitet från behov till användning*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Blomkvist, P., & Hallin, A. (2014). *Metod för teknologer*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Blue Danube Robotics. (2019). *Airskin*. Hämtat från Blue Danube Robotics: <https://www.bluedanuberobotics.com/airskin/> Hämtad den 13 06 2019
- Cole, J. (2017). *Video: This Mobile Cobot Frees Machinists from an Inefficient Secondary Process*. Hämtat från Modern Machine Shop: <https://www.mmsonline.com/blog/post/video-this-mobile-cobot-frees-machinists-from-an-inefficient-secondary-process> Hämtad den 29 04 2019
- Djuric, A., Urbanic, R., & Rickli, J. (2016). A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems. *Materials and manufacturing*, 457-464.
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/30/EU av den 26 februari 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet (omarbetning). (den 29 3 2014). *Europeiska unionens officiella tidning* L96, 79-106.
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/35/EU av den 26 februari 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om tillhandahållande på marknaden av elektrisk utrustning. (den 29 3 2014). *Europeiska unionens officiella tidning* L 96, 357-374.

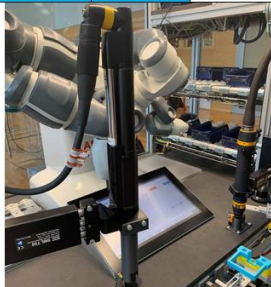
- Europeiska kommissionen. (2019). *The European Single Market>CE marking>Manufacturers*. Hämtat från Europeiska kommissionen: http://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking/manufacturers_sv Hämtad den 12 04 2019
- Europeiska Unionen. (2019). *CE-märkning*. Hämtat från Europeiska Unionen: https://europa.eu/youreurope/business/product/ce-mark/index_sv.htm Hämtad den 12 04 2019
- Europeiska Unionen. (2019). *Europeiska Unionen*. Hämtat från Standarder i Europa: https://europa.eu/youreurope/business/product/standardisation-in-europe/index_sv.htm
- Fast-Berglund, Å., Palmkvist, F., Nyqvist, P., Ekered, S., & Åkerman, M. (2016). Evaluating Cobots for Final Assembly. *Procedia CIRP*, 175-180.
- Göteborgs Tekniska College. (2019). *Smarta Fabriker*. Hämtat från Göteborgs Tekniska College: <https://www.goteborgstekniskacollege.se/projekt/smarta-fabriker> Hämtad den 28 05 2019
- International Organization for Standardization. (2019). *The different types of ISO publications*. Hämtat från International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/deliverables-all.html> Hämtad den 11 04 2019
- Jensen, T., & Sandström, J. (2016). *Fallstudier*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Jespen, T. (2016). *Risk assessment and safe machinery*. Cham: Springer.
- Kadir, B. A., Broberg, O., & Souza da Conceição, C. (2018). DESIGNING HUMAN-ROBOT COLLABORATIONS IN INDUSTRY 4.0: EXPLORATIVE CASE STUDIES. *INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2018* (ss. 601-610). DESIGN ORGANISATION AND MANAGEMENT.
- KUKA. (2019). *LBR iiwa*. Hämtat från KUKA: <https://www.kuka.com/sv-se/produkter-tj%C3%A4nster/robotssystem/industrirobotar/lbr-iiwa> Hämtad den 23 05 2019
- Lantz, A. (1993). *Intervjumetodik*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Marsh, P. (2012). *The new industrial revolution: Consumers, globalization and the end of mass production*. New Haven: Yale University press.
- Mathieu, B.-B. (2016). *How to perform a risk assessment for collaborative robots*. Robotiq.
- Michalos, G., Makris, S., Tsarouchi, P., Guasch, T., Kontovrakis, D., & Chryssolouris, G. (2015). Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces. *Procedia CIRP* 37, 248-253.
- Nof, S. Y. (1999). *Handbook of Industrial Robotics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- NyTeknik. (2018). *Sverige i topp fem med användning av industrirobotar*. Hämtat från NyTeknik: <https://www.nyteknik.se/automation/sverige-i-topp-fem-med-anvandning-av-industrirobotar-6937892#author> Hämtad den 28 05 2019
- Ostrom, L. T., & Wilhelmsen, C. A. (2012). *Risk Assessment: Tools, Techniques, and Their Applications [Elektronisk resurs]*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Peshkin, M., & Colgate, J. E. (1999). Cobots. *Industrial robot*, 335-341.
- Pilz. (2019 a). *Företaget*. Hämtat från <https://www.pilz.com/sv-SE/company>
- Pilz. (2019 b). *Säkerhetstrampmattan PSENmat*. Hämtat från Pilz: <https://www.pilz.com/sv-SE/eshop/00106002247124/PSENmat-Safety-mat?fbclid=IwAR21zSOC64m58v0QgGCYatWhEad0G7bnWtIe2I2o4-89JPEhjPblAgqVEE0> Hämtad den 23 05 2019
- Popov, G., Lyon, B. K., & Hollcroft, B. (2016). *Risk assessment: a practical guide to assessing operational risks [Elektronisk resurs]*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Hämtat från <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=3&sid=2d155cf4-b38d-4ced-8374-8ac646876226%40sdc-v-sessmgr02&bdata=JnNpdGU9ZWRzLWxpdmUmc2NvcGU9c2l0ZQ%3d%3d#AN=c1c.b2136761&db=cat06296a>
- rethink robotics. (2019). *High performance collaborative robot*. Hämtat från rethink robotics: <https://www.rethinkrobotics.com/sawyer/> Hämtad den 23 05 2019
- Sick. (2019). *Säkerhetslaserscanner S300 Standard*. Hämtat från Sick: https://www.sick.com/se/sv/optoelektroniska-skyddsanordningar/saekerhetslaserscanner/s300-standard/s30b-3011ba/p/p295853?ff_data=JmZmX2lkPXAyOTU4NTMmZmZfbWFzdGVySWQ9cDI5NTg1MyZmZl90aXRzZT1TMzBCLTMwMTFCQSZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTlmZmZfb3JpZ1Bvcz0yJmZmX3BhZ2 Hämtad den 23 05 2019
- SME Media. (2018). *Advanced Manufacturing* . Hämtat från <https://advancedmanufacturing.org/collaborative-robots-hype-or-hope/>
- SWEDAC. (2019). *Anmälda och utsedda organ*. Hämtat från SWEDAC: <https://www.swedac.se/tjanster/anmalda-och-utsedda-organ/> Hämtad den 15 04 2019
- Svenska Institutet för Standarder. (2010). *Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010)*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Svenska Institutet för Standarder. (2011). *Robotar och robotutrustning - Säkerhetskrav för industrirobotar - Del 2: Robotssystem och integration (ISO 10218-2:2011)*. SIS Förlag.
- Svenska Institutet för Standarder. (2016). *Robotar och robotutrustning - Samverkande robotar (ISO/TS 15066:2016, IDT)*. SIS Förlag.

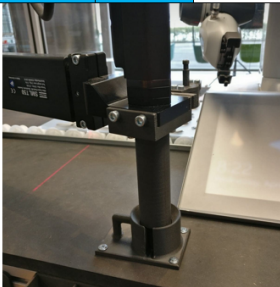
- Svenska Institutet för Standarder. (2019 a). *Robotik*. Hämtat från Svenska Institutet för Standarder:
<https://www.sis.se/standardutveckling/tksidor/tk200299/sistk278/?fbclid=IwAR3wyd18SQJlnXB8Arq7CP5aRrrOyel9dSJx5nXsz6e4U8XLc2iSivqlHP8> Hämtad den 29 04 2019
- Svenska Institutet för Standarder. (2019 b). *CE-märkning*. Hämtat från Svenska Institutet för Standarder: <https://www.sis.se/standarder/ce-markning/#vilkaprodukter> Hämtad den 12 04 2019
- Svenska Institutet för Standarder. (2019 c). *Maskinsäkerhet*. Hämtat från Svenska Institutet för Standarder: <https://www.sis.se/konstruktionoch tillverkning/maskinskerhet/> Hämtad den 27 02 2019
- Svenska Institutet för Standarder. (2019 c). *Maskinsäkerhet - Allmänna konstruktionsprinciper - Riskbedömning och riskreducering (ISO 12100:2010)*. Hämtat från Svenska Institutet för Standarder:
<https://www.sis.se/produkter/terminologi-och-dokumentation/ordlistor/miljo-och-halsoskydd/sseniso1210020102/> Hämtad den 21 03 2019
- Tooley, M. (2010). *Design Engineering Manual - 9.3.1 What is EMC?* Hämtat från <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008U9AO5/design-engineering-manual/what-is-emc>
- Veloso, M., Biswas, J., Coltin, B., & Stephanie, R. (2015). *CoBots: Robust Symbiotic Autonomous Mobile Service Robots*. IJCAI.

Riskidentifikation			Risk nr.	1
Titel	Detaljhämtning			
Berörd kroppsdel	Hand			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Hämtning av detalj Lämning av detalj			
Risktyp	Kollision och kross/klämskador			
Beskrivning	Robotarmen plockar en del med den högra armen från materialstället för att sedan sätta den på monteringsfixturen. Roboten startar endast sekvensen efter att operatören utfört en knapptryckning med foten. Kollisionsrisk mellan robotens verktyg och operatörens ovansida av hand. Efter kraftmätning uppnåddes godkända värden enligt ISO/TS 15066 med en hastighet på 80mm/s. Kraften blev då 16N vid quasi-static kollision, trycket blev 194 N/cm².			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	4	
Pilz Hazard Rating (PHR):	3,75	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	2
Titel	Skanning av detalj			
Berörd kroppsdel	Ansikte, ögon			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Hämtning av detalj Detalj visas upp för skannern som sitter i ovankant av stationen Detalj lämnas vid monteringsfixturen			
Risktyp	Skador på ögon och ansikte			
Beskrivning			Roboten plockar en del från materialstället och visar sedan upp den för en skanner vilken kontrollerar att detaljen är godkänd. Om detaljen inte sitter fast ordentligt på ändeffektorn finns det risk att detaljen tappas för att sedan slungas iväg mot operatören. Efter observation av rörelsen konstateras att roboten inte rör sig tillräckligt snabbt för att slunga iväg detaljen.	
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	11	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	1	
Pilz Hazard Rating (PHR):	20,625	Summary Level:	Väldigt låg risk	
Riskreduktion				
Risken är väldigt låg, men kräver ändå att operatören använder skyddsglasögon				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,25	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	1	
Pilz Hazard Rating (PHR):	0,46875	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	3
Titel	Robot tar skruvdragare			
Berörd kroppsdel	Huvud			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Robot griper skruvdragare Robot för skruvdragaren till detaljen			
Risktyp	Kollision			
Beskrivning	Robot griper tag i fästet till den stora skruvdragaren och för sedan skruvdragaren till detaljen. På grund av skruvdragarens långa skaft finns det risk att den kolliderar med en operatörs huvud om operatören står lite framtutad över detaljen och inte är uppmärksam på robotens rörelse. Efter kraftmätning uppnåddes godkända värden enligt ISO/TS 15066 med en hastighet på 40mm/s. Kraften blev då 11N vid övergående kollision, trycket blev 91 N/cm².			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	4	
Pilz Hazard Rating (PHR):	3,75	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	4
Titel	Fasthållning av detalj			
Berörd kroppsdel	Hand			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Operatör och robot trycker samtidigt ner detalj			
Risktyp	Klämm- och krosskador			
Beskrivning	För att fästa den övre detaljen behöver operatören och robotarmen samtidigt hålla nere den övre detaljen samtidigt som operatören använder den stora skruvdragaren. Det är när operatören ska hålla nere detaljen som faran har identifierats. Om operatören håller handen på fel ställe finns det risk att robotarmen klämmer fast operatörens hand mellan detalj och ändeffektor. Kraftmätningen konstaterar att liknande scenarion (se risk 1) är under gränsvärdena som anges i ISO/TS 15066.			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,25	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	4	
Pilz Hazard Rating (PHR):	6,25	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	5
Titel	Åtdragning av skruv			
Berörd kroppsdel	Hand			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Åtdragning av skruv			
Risktyp	Roterande delar, intrassling av kläder samt fingrar			
Beskrivning	Den roterande delen på skruvdragaren är lång och operatören behöver hålla händerna nära detaljen för att trycka ner samtidigt som skruven ska dras åt. Detta medför en risk att operatören fastnar med fingrarna eller att hår eller långa klädesplagg fastnar i skruvdragaren.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	4	
Pilz Hazard Rating (PHR):	22,5	Summary Level:	Låg risk	
Riskreduktion				
3d-printad detalj som täcker hela den roterande delen på skruvdragaren vilken förhindrar möjligheten för operatören att fastna i den roterande delen				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	1,25	Frequency And/or Duration of Exposure:	0,5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	1,40625	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	6
Titel	Ergonomi			
Target	Rygg			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp	Ryggsador			
Beskrivning	Vid en arbetsstation med monotona arbetsuppgifter och onaturliga arbetsställningar kan det uppstå ergonomiska risker, framförallt ryggproblem hos operatören. Denna robotstationen är utrustad med ett höj- och sänkbart bord för att anpassa stationen till operatören och det finns inte ergonomiska risker som har med räckvidd att göra då robotens uppgifter kompenserar för det. Operatören får även instruktioner för hur arbetsuppgifterna ska genomföras. Det höj- och sänkbara bordet medförde ny risk se risk nummer 7.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	1,25	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	14,0625	Summary Level:	Väldigt låg risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreducering krävs.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	7
Titel	Sänkning av arbetsbord			
Berörd kroppsdel	Fot			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Sänkning av arbetsbord			
Risktyp	Krosskador			
Beskrivning	För att operatören alltid ska kunna ha en ergonomiskt fördelaktig arbetsposition går bordet att höja och sänka. Operatören skannar in sig genom att visa upp en tagg för sensorn fäst på högersidan av stationen. Därefter sänks bordet till förinställd position där taggen i jackan anger hur lågt bordet ska vara. Om operatören placerar foten mellan aluminiumramen och elskåpet när bordet sänks finns det risk att operatörens fot krossas.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	5	Possibility of Avoidance:	5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	125	Summary Level:	Signifikant risk	
Riskreduktion				
Skyddsskor är ett krav. Varningssymboler rekommenderas även.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,25	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	3,125	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	8
Titel	Transport av station			
Berörd kroppsdel				
Aktivitet	Transport			
Uppgift	Transport av station			
Risktyp	Olika sorters kross- och klämskador			
Beskrivning	Transporten av stationen involverar en rad olika risker. Bland annat finns risker att delar som ej är tillräckligt fastsatta i stationen lossnar och ramlar på operatören, klämrisk finns om någon står ivägen för stationen när den rullas, tipprisk finns om underlaget är ojämnt eller lutar. Operatören kan behöva lyfta delar av maskinen vilket kan medföra ergonomiska risker. Skruvdragarna är även "lösa" vilket gör att de kan lossna från magneten och slå runt och träffa operatör eller känslig del på stationen. Se risk 9 för risken med skruvdragarna under transport.			
	Dessa risker finns, är svåra att reducera bort och vissa av dem är reducerade genom steg 1 i riskbedömningen. Till exempel är risken med fallande föremål reducerad med krav på skyddsskor. Vissa av riskerna finns dock kvar och det är därför viktigt att användaren känner till dem.			
Referenser:	ISO 12100			
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	40	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	1,25	Frequency And/or Duration of Exposure:	1	
Pilz Hazard Rating (PHR):	37,5	Summary Level:	Låg risk	
Riskreduktion				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation		Risk nr.	9
Titel	Strömförande delar under monteringen		
Berörd kroppsdel			
Aktivitet	Montering		
Uppgift	Montage av elektriska komponenter		
Risktyp	Elstötar		
Beskrivning	 Vid monteringen av stationen finns det vid flera tillfällen risker för elstötar på grund av komponenter som är strömförande. Det kan till exempel vara om strömmen ej är bruten när monteringen sker, om det finns skadade kablar och komponenter eller om någon komponent monterats felaktigt.		
Referenser:	ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	40	Possibility of Avoidance:	5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	0,5
Pilz Hazard Rating (PHR):	250	Summary Level:	Hög risk
Riskreduktion			
Vid montage av elektriska detaljer krävs det att personen är utbildad elektriker vilket anses reducera risken tillräckligt.			
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	40	Possibility of Avoidance:	5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	0,4	Frequency And/or Duration of Exposure:	0,5
Pilz Hazard Rating (PHR):	40	Summary Level:	Låg risk

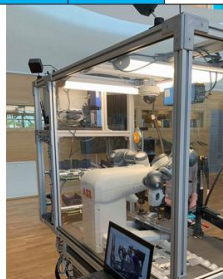
Riskidentifikation		Risk nr.	10
Titel	Felmontage samt felaktigt underhåll		
Berörd kroppsdel			
Aktivitet	Montering av station		
Uppgift			
Risktyp			
Beskrivning	Vid monteringen av stationen finns det alltid en risk att något monteras felaktigt. Risker förknippade med det är till exempel lösa delar som kan lossna och att stationen inte fungerar som det är tänkt.		
Referenser:	ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	1
Pilz Hazard Rating (PHR):	37,5	Summary Level:	Låg risk
Riskreduktion			
Montage och underhåll av stationen ska utföras av behörig personal. Bruksanvisningen bör specificera vilken utbildningsnivå som krävs av montören.			
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	2,5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	1,25	Frequency And/or Duration of Exposure:	1
Pilz Hazard Rating (PHR):	9,375	Summary Level:	Försumbar risk

Riskidentifikation		Risk nr.	11
Titel	Robotens verktyg		
Berörd kroppsdel	Ögon, händer		
Aktivitet	Normal operation		
Uppgift			
Risktyp	Klämm- och kross, vassa kanter samt risk för skada på ögon		
Beskrivning	Robotens verktyg är en viktig detalj som noga bör övervägas hur den ser ut för att den kollaborativa stationen ska kunna klassas som säker. Då robotarmen programmeras för att röra sig i samma arbetsyta som operatören bör inte verktyget innehålla några vassa kanter eller vara konstruerad på ett sådant sätt att den är farlig för operatören vid kontakt. Fara finns för operatören över hela kroppen beroende på hur robotarmen är programmerad men det är främst händer och ögon som är de mest utsatta kroppsdelarna för den här faran.		
Referenser:	ISO/TS 15066, ISO 10218		

Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	15	Possibility of Avoidance:	2,5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5
Pilz Hazard Rating (PHR):	468,75	Summary Level:	Hög risk

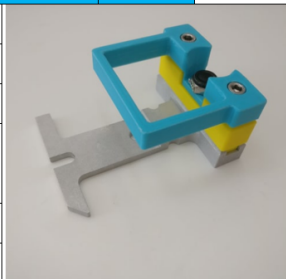
Riskreduktion			
Kraftmätningen visade att kraft och tryck är under värdena i ISO/TS 15066. GTC bör ändå överväga om verktyget kan tillverkas utan den utskjutande del som finns på robotens högra verktyg.			

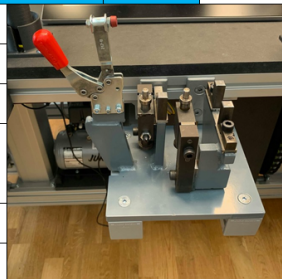
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	2,5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5
Pilz Hazard Rating (PHR):	15,625	Summary Level:	Väldigt låg risk

Riskidentifikation		Risk nr.	12
Titel	Åtkomst bakifrån		
Berörd kroppsdel	Armar och händer		
Aktivitet	Rimligen förutsebar felanvändning		
Uppgift			
Risktyp	Kläm- och krosskador		
Beskrivning	På grund utav att stationen är mobil möjliggör dess placering åtkomst bakifrån. Inga arbetsmoment är identifierade från denna sidan under stationens normala drift vilket gör att de här riskerna helt kan elimineras.		
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218	
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	2,5
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	4	Frequency And/or Duration of Exposure:	3
Pilz Hazard Rating (PHR):	90	Summary Level:	Signifikant risk
Riskreduktion			
Monterat plexiglas, se bild. Åtgärden eliminerar risken tillräckligt.			
Riskuppskattning och utvärdering			
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	0,05	Frequency And/or Duration of Exposure:	2
Pilz Hazard Rating (PHR):	0,225	Summary Level:	Försumbar risk

Riskidentifikation			Risk nr.	13
Titel	Åtkomst från sidan			
Berörd kroppsdel	Armar och händer			
Aktivitet	Rimligen förutsebar felanvändning			
Uppgift				
Risktyp	Klämm- och krosskador			
Beskrivning	På grund utav att stationen är mobil möjliggör dess placering åtkomst från sidan där materialtillförseln är. Inga arbetsmoment är identifierade från sidan under stationens normala drift vilket gör att de här riskerna helt kan elimineras.			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	4	Frequency And/or Duration of Exposure:	3	
Pilz Hazard Rating (PHR):	90	Summary Level:	Signifikant risk	
Riskreduktion				
Monterat plexiglas, se bild. Åtgärden eliminerar risken tillräckligt. En smal lucka finns där materialtillförseln är, men att någon sträcker in armen genom luckan ses som osannolikt på grund av luckans smala utformning				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	0,05	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	0,225	Summary Level:	Försumbar risk	

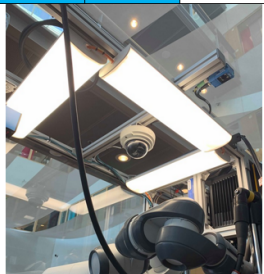
Riskidentifikation			Risk nr.	14
Titel	Felprogrammering			
Berörd kroppsdel				
Aktivitet	Uppstart samt nya arbetsuppgifter vid stationen			
Uppgift				
Risktyp				
Beskrivning	Felprogrammering kan medföra olika typer av konsekvenser, där det farligaste är oförutsägbara rörelser utav robotarmen. Robotarmen kan även slå emot delar av stationen, vilket kan leda till oförutsedda klämskador hos operatören.			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	75	Summary Level:	Signifikant risk	
Riskreduktion				
Risken reduceras genom att programmering dels sker genom behörig personal samt att vid implementering av nya program ska det först testas med reducerad hastighet. Risken reduceras även genom att robotens verktyg är riskreducerad samt att personal rekommenderad skyddsutrustning.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	11,25	Summary Level:	Väldigt låg risk	

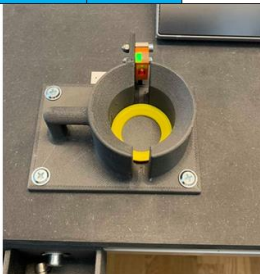
Riskidentifikation			Risk nr.	15
Titel	Arbetsstycke			
Berörd kroppsdel	Hand			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp	Kläm- och krosskador, skärskador			
Beskrivning	Arbetsstycket är en viktig detalj som noga bör övervägas hur den är utformad för att den kollaborativa stationen ska kunna klassas som säker. Då robotarmen programmeras för att röra sig i samma arbetsyta som operatören bör inte arbetsstycket innehålla några vassa kanter eller vara konstruerad på ett sådant sätt att den är farlig för operatören vid kontakt. Till exempel om montören kläms fast mellan station och arbetsstycke eller oönskad kontakt sker med operatörens huvud när robotarmen visar upp arbetsstycket för skannern, se risk 20.			
Referenser:	ISO/TS 15066, ISO 10218			
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	15	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	468,75	Summary Level:	Hög risk	
Riskreduktion				
Flera reduktioner har utförts för att minska risken. Det finns krav att operatören ska använda skyddsglasögon samt att arbetsstycket är kontrollerat så att det inte innehåller några vassa kanter samt att en kraftmätning har utförts vilket verifierar att kontrollvärdena i ISO/TS 15066 inte har överskridits. Det bör däremot övervägas om vassa kanter kan elimineras ytterligare.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	15,625	Summary Level:	Väldigt låg risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	16
Titel	Monteringsfixtur			
Berörd kroppsdel	Händer			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Montage av arbetsstycke			
Risktyp	Skär- och klämskador			
Beskrivning	Monteringsytan vid stationen är konstruerad så att det existerar risk för skärskador och när robotarmen är aktiv även risk för klämskador			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	93,75	Summary Level:	Signifikant risk	
Riskreduktion				
Kraftmätningen verifierar att gränsvärdena ej är överskridna samt att risken för klämskador som leder till benbrott är eliminerade. Trots att kraftmätningen visade på att värdena inte överstigs rekommenderas ändå att se över om det går att eliminera vissa vassa kanter i monteringsfixturen.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	15,625	Summary Level:	Väldigt låg risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	17
Titel	Återvinning			
Berörd kroppsdel				
Aktivitet	Demontering och skrotning			
Uppgift				
Risktyp	Ergonomiska risker, miljörisker			
Beskrivning	Vid demontage och återvinning ska stationens delar återvinnas enligt avfallsförordningen (2011:927). Detta för att säkerställa att påverkan på miljön blir minimal även efter stationens livscykel. Vid demontage kommer även tunga lyft utföras då vissa ingående komponenter är relativt tunga samt svåra att demontera med lyftredskap.			
Referenser:				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	4	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	0,5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	3,75	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

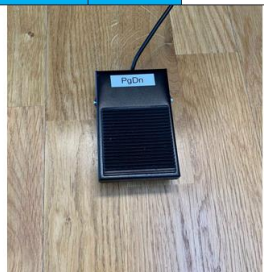
Riskidentifikation			Risk nr.	18
Titel	Rörelsefrihet			
Berörd kroppsdel				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Operatörens möjlighet att rygga tillbaka om en farlig situation uppstår			
Risktyp				
Beskrivning	Operatören ska kunna backa eller rygga tillbaka vid eventuell fara. Stationen får inte placeras så att operatör inte har möjlighet att backa tillbaka minst 0,5m från arbetspositionen. Risken är tidigare reducerad genom att arbetsprocessen är reducerad. Det ska även stå i bruksanvisningen hur stationen får placeras i rummet så att det möjliggör för operatören att backa undan för en eventuell fara			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	4,6875	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

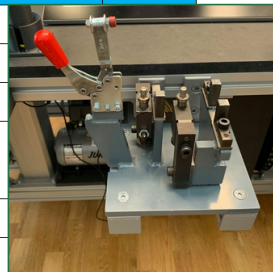
Riskidentifikation			Risk nr.	19
Titel	Belysning			
Target				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp	Kollision			
Beskrivning	Om belysningen inte är tillräcklig för operatören att kunna se tydligt kan det uppstå risker, exempelvis snubbelrisk eller att roboten kolliderar med någon av operatörens kroppsdelar. I denna robotstationen bedöms belysningen vara tillräcklig för normal operation och de eventuella riskerna reduceras genom skyddsutrustning och instruktioner.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	1,25	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	14,0625	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	20
Titel	Skruvdragare under transport			
Target				
Aktivitet	Transport			
Uppgift				
Risktyp	Kross- och klämskador, skador på stationen			
Beskrivning	Skruvdragarna är monterade på en "torque arm". Armens syfte är att avlasta operatören från skruvdragarens tyngd samt den momentkraft som uppstår när skruvdragaren används. Vid transport innebär det att skruvdragaren kan svänga runt fritt och eventuellt slå till personen som transporterar stationen.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	5	Possibility of Avoidance:	5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	125	Summary Level:	Signifikant risk	
Riskreduktion				
Risken har reducerats tillräckligt genom att en transportkopp har konstruerats. Skruvdragaren spänns fast i koppen med ett spännband vilket gör att skruvdragaren är säkrad under transport.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,25	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	0,9375	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	21
Titel	Buller			
Target	Öron			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp	Hörselskador, psykologiska effekter			
Beskrivning	Buller kan orsaka skador på hörseln och psykologiska effekter såsom stress hos operatören. Om ljudnivån överstiger 80 dB krävs det tillgång till hörselskydd, men i denna robotstationen når ljudnivån ej över den gränsen då alla ingående komponenter har en ljudnivå som understiger 70 db.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:		Possibility of Avoidance:	5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	0,05	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	0	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreducering krävs.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	22
Titel	3d-printade delar			
Target				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp				
Beskrivning	GTC har tillverkat ett antal delar själva med hjälp av deras 3d-skrivare. Dessa är bland annat robotens verktyg och transportkopparna för skruvdragarna. Genom visuell inspektion och praktiska tester kan det säkerställas att dessa delar håller en tillräckligt hög kvalitet och att de kan motstå den påfrestning de utsätts för. De är tillverkade av kolfiberarmerad nylon och ska kontrolleras genom praktiska tester, till exempel slag- och sträcktest.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:			Possibility of Avoidance:	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:			Frequency And/or Duration of Exposure:	
Pilz Hazard Rating (PHR):		0	Summary Level:	Försumbar risk
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion nödvändig.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:		n/a	Possibility of Avoidance:	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:		n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	
Pilz Hazard Rating (PHR):		#VALUE!	Summary Level:	n/a

Riskidentifikation			Risk nr.	23
Titel	Pedal			
Target				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Robotens olika arbetsmoment stegas fram genom pedaltryck			
Risktyp	Halkrisk			
Beskrivning	Risker kan uppstå som orsakas av pedalens konstruktion, exempelvis dess greppförmåga mellan pedal och golv. Kraften som krävs och hur länge operatören behöver hålla ned pedalen är faktorer som kan påverka operatörens balans. I denna robotstationen behöver operatören inte hålla ned pedalen och kraften som krävs för att klicka fram nästa sekvens är väldigt låg, vilket leder till att den sammanlagda risken blir låg.			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:		Possibility of Avoidance:		
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:		Frequency And/or Duration of Exposure:		
Pilz Hazard Rating (PHR):	0	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion nödvändig .				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	24
Titel	Borttagning av monteringsfixtur vid transport			
Berörd kroppsdel	Fot			
Aktivitet	Flytt av station			
Uppgift	Montera av monteringsfixtur			
Risktyp	Kläm- och krosskada			
Beskrivning	Vid transport av stationen monterar GTC bort monteringsfixturen som väger ca 6kg. Tidigare rekommendation vid transport av stationen är att operatören använder skyddsskor samt att personal som tidigare utfört arbetsmomentet är närvarande vilket gör att risken inte behöver reduceras ytterligare.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,25	Possibility of Avoidance:	5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	1	
Pilz Hazard Rating (PHR):	3,125	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen ytterligare riskreduktion nödvändig.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	25
Titel	Transport av stationen med truck			
Target				
Aktivitet	Transport			
Uppgift				
Risktyp				
Beskrivning	Stationen är ej konstruerad för att lyftas med truck eller travers. Om så sker kan konsekvenserna bli väldigt allvarliga om personer finns i närheten av stationen när den lyfts.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	40	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	4	Frequency And/or Duration of Exposure:	0,5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	200	Summary Level:	Hög risk	
Riskreduktion				
Information ska finnas tillgänglig hur stationen ska transporteras och hur den inte får transporteras. Flytt av stationen bör även ske under övervakning av personal som har transporterat stationen tidigare.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	40	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	0,05	Frequency And/or Duration of Exposure:	0,5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	2,5	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	26
Titel	Bristande koncentration			
Target				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp	Mindre personskador			
Beskrivning	Att vara ouppmärksam och inte fullt koncentrerad kan vara en orsakskälla till risker, vilken är svår att reducera bort. Konsekvenserna är dock reducerade genom att roboten inte överstiger gränserna i ISO/TS 15066, instruktioner och skyddsutrustning.			
Referenser:		ISO 10218, ISO/TS 15066		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	15,625	Summary Level:	Väldigt låg risk	
Riskreduktion				
Ingen ytterligare riskreduktion krävs.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

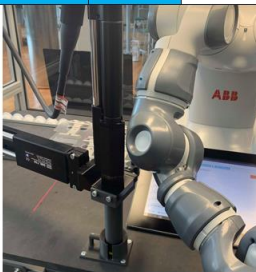
Riskidentifikation			Risk nr.	27
Titel	Robot använder skruvdragare			
Berörd kroppsdel	Fingrar			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Robot använder skruvdragare			
Risktyp	Kross- och klämskador			
Beskrivning			Robotarmen använder den stora skruvdragaren för att dra åt skruven placerad i mitten. Om operatören har placerat fingrarna över skruven finns det en risk att operatören kläms mellan skruv och skruvdragaren. Efter kraftmätning uppnåddes godkända värden enligt ISO/TS 15066 med en hastighet på 80mm/s. Kraften blev då 19N vid quasi-static kollision, trycket blev 100 N/cm²	
Referenser:			ISO/TS 15066, ISO 10218	
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,25	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	7,8125	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	28
Titel	Värmeutveckling vid rörliga delar			
Target				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp	Förslitning, brännskada			
Beskrivning	Om det sker värmeutveckling under användning kan det ske förslitning på delar av stationen som i sin tur kan ge upphov till risker. Är värmen tillräckligt hög så kan det vara risk att operatören får brännskador vid beröring. En observation under operation krävs för att verifiera att dessa risker är försumbara under vanlig operation. Arbetsinstruktioner gör att operatören undviker olämplig beröring av delar.			
		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	15,625	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	Försumbar risk	

Riskidentifikation			Risk nr.	29
Titel	Kollisionsrisk med huvud			
Berörd kroppsdel	Huvud			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Robotarm visar detalj för skanner			
Risktyp	Kollisionsrisk, ögonskador			
Beskrivning	När robotarmen visar upp detaljen för skannern finns det en risk att operatören sticker in huvudet där robotarmen arbetar. Kollisionsrisk uppstår då, vilken inte är verifierad att det är under gränsvärdena i ISO/TS 15066. Risken anses dock osannolik. Dels på grund av att utbildad operatör alltid är närvarande, dels på grund av att den stora skruvdragarens kabel (se bild) är ivägen.			
Referenser:	ISO/TS 15066, ISO 10218			
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	11	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	0,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	2	
Pilz Hazard Rating (PHR):	8,25	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion krävs				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	30
Titel	Strålning			
Target				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift	Skanning av detalj			
Risktyp				
Beskrivning	Laserstrålning är den enda strålningstypen som operatören kan exponeras för i den här stationen. Laserskannern är placerad så att den inte utgör fara för operatörens ögon.			
Referenser:		ISO 12100		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	0,5	Possibility of Avoidance:	0,75	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	4,6875	Summary Level:	Försumbar risk	
Riskreduktion				
Ingen riskreduktion nödvändig.				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:	n/a	

Riskidentifikation			Risk nr.	31
Titel	Lösenordsskyddat program			
Target				
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp				
Beskrivning	Programmet som roboten utför bör på något sätt skyddas så att inte hastighet eller liknande ändras. Om robotens hastighet ändras kommer inte den kraftmätning som utfördes vara giltig längre.			
	Om programmet som används inte möjliggör det bör GTC överväga att skydda programmet på annat sätt, till exempel genom att inte ha pendanten ikopplad när det inte behövs. Risken bör utvärderas vidare.			
Referenser:		ISO/TS 15066, ISO 10218		
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	3	Possibility of Avoidance:	2,5	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	2,5	Frequency And/or Duration of Exposure:	5	
Pilz Hazard Rating (PHR):	93,75	Summary Level:	Signifikant risk	
Riskreduktion				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:		

Riskidentifikation			Risk nr.	32
Titel	Klämrisk vid robotarm			
Berörd kroppsdel	Händer, fingrar			
Aktivitet	Normal operation			
Uppgift				
Risktyp	Kross- och klämskador			
Beskrivning	I dagsläget finns det ett antal klämrisker som ej har åtgärdats. Dessa har bland annat med robotens avstånd till olika delar att göra, till exempel avståndet mellan den stora skruvdragaren och robotens arm. GTC bör testa om robotens armrörelser kan programmeras om så att dessa risker inte uppstår. Bilden visar ett exempel på ett ställe där det finns möjlig klämrisk. Risken bör utvärderas ytterligare.			
Referenser:	ISO/TS 15066, ISO 10218			
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:		Possibility of Avoidance:		
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:		Frequency And/or Duration of Exposure:		
Pilz Hazard Rating (PHR):	0	Summary Level:		
Riskreduktion				
Riskuppskattning och utvärdering				
Degree of Possible Harm:	n/a	Possibility of Avoidance:	n/a	
Probability of Occurrence of a Hazardous Event:	n/a	Frequency And/or Duration of Exposure:	n/a	
Pilz Hazard Rating (PHR):	#VALUE!	Summary Level:		