Examensarbete

HÖGSKOLAN I SKÖVDE

FRÅN MANUELLA MONTERINGSTATIONER TILL MÄNNISKA-ROBOT SAMARBETE

Framtagning av en specifikation för HRC

Examensarbete inom huvudområdet produktionsteknik
Grundnivå
30 hp
Vårtermin 2019

My Andersson
Samantha Hovbjer

Handledare: Niklas Land
Examinator: Anna Syberfeldt

Äkthetsintyg

Denna examensrapport är inlämnad av My Andersson och Samantha Hovbjer till Högskolan i Skövde för examen vid institutionen för Ingenjörsvetenskap. Härmed intygas att allt material i denna rapport är vårt eget. Tydliga referenser ges till material som hämtats från annat håll.

Skövde 2019-06-05

Ort och datum

.....
Signatur

.....
Signatur

Förord

Vi vill tacka samtliga personer som medverkat samt stöttat oss i vårt examensarbete. Ett stort tack till vår handledare Niklas Land och vår examinator Anna Syberfeldt från Högskolan i Skövde som har visat stort intresse för vårt arbete samt stöttat oss med mycket återkoppling och hjälp. Vi vill även tacka Tobias Synnergren som agerat kontaktperson på Volvo Group Truck Operations i Skövde och bidragit med material och kunskap till projektet. Vidare tacksamhet till Axel Leidenkrantz, Erik Westbrandt, Philip Martinsson och Victor Svensson för ett optimalt samarbete i projektet och delad information mellan examensarbetena. Detta examensarbete har varit mycket lärorikt och intressant och vi vill till sist tacka Volvo Group Trucks Operations och Högskolan i Skövde som utformade projektet.

Sammanfattning

I och med att industri 4.0 är på frammarsch ställs höga krav på företag gällande bland annat kvalitet, flexibilitet samt snabba omställningstider. Examensarbetet skrivs för Högskolan i Skövde och Volvo GTO där fokus ligger på att identifiera möjliga människa-robot samarbeten i en manuell monteringslinje. Huvudmålet med examensarbetet är att ta fram en metod för att skapa en specifikation vid implementering av en virtuell människa-robot station.

Hållbar utveckling har en central del i examensarbetet. Genom att reducera ergonomiskt belastande och stressrelaterade moment kan den sociala hållbarheten öka och i sin tur leda till mindre kassationer och kvalitetsavvikelser.

Förutsättningarna som ligger till grund för arbetet analyseras och diskuteras där standardiserat arbetssätt är en central del. Fyra generella kollaborativa metoder beskrivs i arbetet samt färdigheter för en specifikt kollaborativ robot som fanns till förfogande under hela examensarbetet. Vid analyser av tidigare forskning belyses svårigheter gällande säkerheten vid implementeringen av en kollaborativ robot. En riskanalys av säkerheten rekommenderas att utföras när en layout och momentfördelningen mellan människa och robot är utformad.

Genom att analysera och samla in data över befintliga stationer skall möjliga moment som en kollaborativ robot kan utföra identifieras. Analysen resulterade i att endast en station innehöll lämpliga moment, där av utfördes en momentanpassning på den stationen. Detta för att skapa en arbetssekvens där människa-robot samarbeten kan utföras. Fem moment identifierades för den kollaborativa roboten.

Examensarbetet resulterade i två implementeringsförslag där skillnaden var stationens utformning. Skillnaden berörde en kåpans ursprungsplacering vilket kräver en förändring i den externa materialtillförseln. De nya arbetssekvenserna för de berörda varianterna reducerar människans arbetsbelastning då ergonomiskt belastande moment överförts till roboten.

Den framtagna metoden för att skapa en specifikation är baserad på det genomförda examensarbetet där rekommendationer och metoder som är lämpliga att använda för ett liknande arbete är sammanställda. Vikten vid att skapa liknande grundförutsättningar för att tillämpa den framtagna metoden ligger i ett standardiserat arbetssätt.

Som fortsatt arbete rekommenderas det att skapa en efterliknande station i en virtuell miljö där en riskanalys bör genomföras. Detta för att skapa en säker stationsmiljö.

Abstract

As industry 4.0 is rising companies are obliged to work to increase their quality, flexibility and reduce their changeover time. The final year project is written for Högskolan I Skövde and Volvo GTO with focus to identify possible human-robot collaboration tasks in a manual assembly line. The main objective for the thesis is to developed a method for a specification for implementation of virtual collaboration station.

A central point for the thesis is sustainable development. By reducing non ergonomically and stressful tasks, social sustainability can be increased which can lead to lead to less scrap and quality deviation.

Presumptions for the thesis are analyzed and discussed where standardized work is a central and important part. Four general collaborations methods are mentioned. A specific collaborative robot where used and its proficiency analyzed during the work, a UR10e. Previous researched mentioned the safety issue related to implementation of a collaborative robot. A recommendation to properly ensure the safety is to perform a risk assessment when the work sequence and layout is generated.

To identify potential tasks for the collaborative robot data related to the defined stations needs to be analyzed. The conclusion was that only one station included all the five identified potential tasks for the collaborative robot. This resulted in an adjustment of the work order for the selected station and thereby create a human robot collaboration.

Two implementation suggestions where created and differed only in the location of a specific component. The new position for the component requires a reorganization of the material handling to the station. There are two categories of product variants and the new working sequences reduce the work load because tasks are performed by the robot.

The generated method to create a specification is based on the work performed during the thesis. This method includes recommendation and methods which will facilitate similar projects. Standardize work is a key factor to create similar prerequisites.

A recommendation for continual work is to create a virtual environment where a risk assessment can take place in order to generate a safe work environment.

Innehåll

Figurförteckning IX

Tabellförteckning X

1 Inledning 1

1.1 Bakgrund 1

1.2 Företagspresentation 2

1.3 Problembeskrivning 2

1.4 Syfte 2

1.5 Mål 2

1.5.1 Mätning av mål 3

1.6 Avgränsning och omfång 3

2 Hållbar utveckling 4

2.1 Social hållbarhet 4

2.2 Ekologisk hållbarhet 5

2.3 Ekonomisk hållbarhet 5

2.4 Generella kopplingar till examensarbetet 5

3 Teoretisk referensram 6

3.1 LEAN koncept 6

3.1.1 Standardiserat arbete 6

3.1.1.1 5S 7

3.1.1.2 Visuell styrning 7

3.1.1.3 PDCA 7

3.2 Datainsamling 7

3.2.1 Tidsstudie 7

3.2.1.1 Klockstudier 8

3.2.1.2 Frekvensstudie 9

3.2.1.3 Predetermined Time System (PTS) 9

3.2.1.4 MTM-SAM 10

3.2.1.5 Historisk data 10

3.2.1.5.1 AviX 10
3.2.2 Intervju 10
3.3 Linjebalansering 10
3.4 Automatiserade processer 11
3.5 Industrirobotar 12
3.6 Swedish standard institute (Sis) 12
3.7 Kollaborativa robotar 12
3.7.1 Nivåer av människa-robot samarbete 12
3.7.2 Generella kollaborativa metoder 13
3.7.3 UR robotar 13
4 Metod 14
4.1 Arbetssekvens 14
4.1.1 Datainsamling 14
4.1.1.1 Litteraturstudie 15
4.1.2 Nulägesanalys 15
4.1.3 Momentanpassning 15
4.1.4 Implementeringsförslag 15
4.1.5 Verifiering 15
5 Litteraturstudie 17
5.1 Fokus vid Linjebalansering 17
5.2 Människa-robot samarbete 17
5.3 Analys av litteraturstudie 19
6 Genomförande 20
6.1 Datainsamling 20
6.1.1 Delresultat av datainsamling 20
6.2 Nulägesanalys 20
6.2.1 Delresultat av nulägesanalys 20
6.3 Momentanpassning 24
6.3.1 Delresultat av momentanpassning 24
6.3.1.1 Moment A: kvalitetskontroll 25
6.3.1.2 Moment B: belastande lyft 26
6.3.1.3 Moment C: handguiding 26

6.3.1.4 Moment D: skruvdragning ... 26
6.3.1.5 Produktvarianter ... 27
6.3.2 Utvärdering av moment vid robotdemonstratorn ... 27
6.3.2.1 Moment A ... 28
6.3.2.2 Moment B ... 28
6.3.2.3 Moment C ... 28
6.3.2.4 Moment D ... 29
6.4 Implementeringsförslag ... 29
6.5 Verifiering ... 29
7 Resultat ... 30
7.1 Implementeringsförslag ... 30
7.1.1 Arbetssekvenser ... 30
7.1.2 Layoutförslag ... 33
7.1.2.1 Layoutförslag: Medföljande materialvagn ... 34
7.1.2.2 Layoutförslag: Fast materialplacering ... 35
7.2 Utvärdering av Arbetssekvens ... 36
7.2.1 Ergonomiaspekter ... 36
7.2.2 Säkerhetsaspekter ... 36
7.3 Framtagen metod ... 37
8 Diskussion ... 39
9 Slutsats ... 41
9.1 Utvärdering av syfte ... 41
9.2 Utvärdering av mål ... 41
9.3 Fortsatt arbete ... 42
Referenser ... 43
Bilaga A ... I
Bilaga B ... II
Bilaga C ... III
Bilaga D ... IV

Bilaga E V

Bilaga F VI

Figurförteckning

Figur 1: De fyra industriella revolutionerna 1

Figur 2: Projektets omfång 3

Figur 3: Kopplingen mellan de tre hållbarhetsaspekterna 4

Figur 4: Antal observationer (Freivalds & Niebel 2013, s. 432) 8

Figur 5: Ett exempel på ordningsföljd 11

Figur 6: Ett exempel på en balanseringstavla 11

Figur 7: Arbetssekvens över examensarbetet 14

Figur 8: Layout över nuvarande station 4 21

Figur 9: Produktionsplanering i procent över de olika varianterna 21

Figur 10: Prioriteringsordning på stationens arbetsmoment för variant 1, 2 och 3 23

Figur 11:Prioriteringsordning på stationens arbetsmoment för variant 4 23

Figur 12: Positionering av moment på motorn för variant 1, 2 och 3 24

Figur 13: Positionering av moment på motorn för variant 4 24

Figur 14: Kameran är positionerad ovanför vacuumverktyget 25

Figur 15: Positionering av sugkopp 27

Figur 16: Utformad robotdemonstrator 28

Figur 17: Ordningsföljd för implementeringsförslaget variant 1, 2 och 3 31

Figur 18: Ordningsföljd för implementeringsförslaget variant 4 32

Figur 19: Positionering av moment för människa-robot samarbete för variant 1, 2 och 3 33

Figur 20: Positionering av moment för människa-robot samarbete för variant 4 33

Figur 21: Layout av förslaget med medföljande materialvagn 34

Figur 22: Layout av förslaget med fast materialplacering 35

Figur 23: Framtagen metod för att skapa en specifikation för en implementering av en HRC-station 37

Tabellförteckning

Tabell 1: Arbetssekvensen variant 1, 2 och 3 22

Tabell 2: Arbetssekvensen variant 4 22

Tabell 3: Cykeltid för de identifierade momenten av variant 4 i procent 25

Tabell 4: Moment tilldelad roboten som utförs på de olika produktvarianterna 27

Tabell 5: Ny arbetssekvens med nya momentnummer på station 4 för variant 1, 2 och 3 31

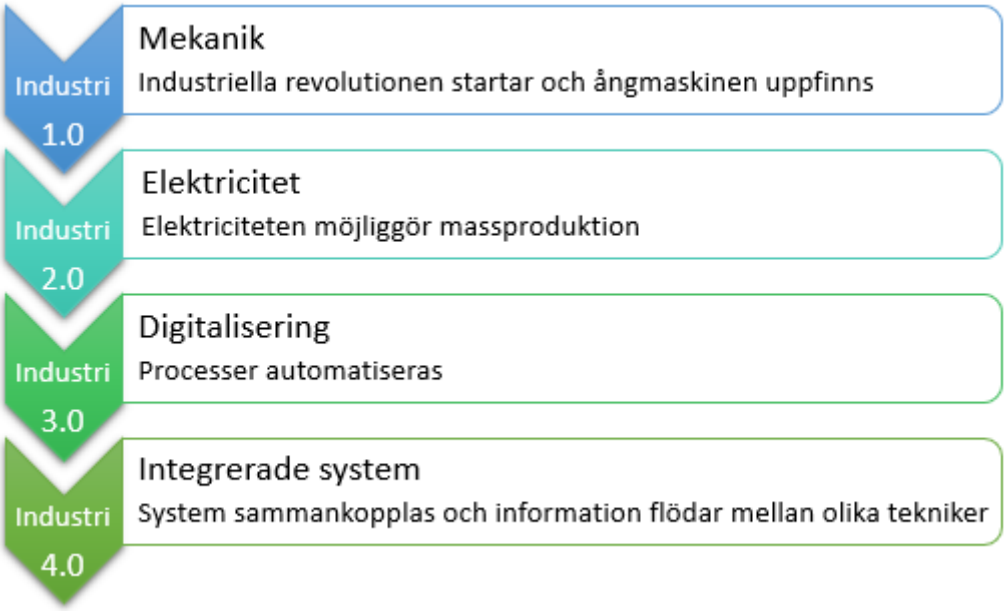
Tabell 6: Ny arbetssekvens med nya momentnummer på station 4 för variant 4 32

1 Inledning

Det inledande kapitlet ger en övergripande förståelse av arbetets bakgrund, dess omfattning och avgränsning. Kapitlet presenterar industrins framfart vilket är direkt kopplat mot den presenterade problembeskrivningen.

1.1 Bakgrund

Från sent 1700-tal till idag har tre industriella revolutioner ägt rum, se Figur 1. Hwang (2016) beskriver dessa med ett få antal betydande begrepp. Den första industriella revolutionen berörde det första begreppet mekaniska system som fick sin frammarsch med hjälp av ångmaskinen. Under den andra industriella revolutionen introducerades elektricitet, vilket Hwang (2016) anser vara ett betydande begrepp som är direkt relaterat till massproduktionens framfart. Den tredje revolutionen kan summeras till datorernas och automatiseringens framfart, där begreppet digitalisering nämns.



Figur 1: De fyra industriella revolutionerna

Hwang (2016) diskuterar den nya industriella era som är på frammarsch, Industri 4.0. Eran kan beskrivas som sammankopplingar mellan olika tekniker samt mellan teknik och människan. Dessa sammankopplingar kan exempelvis ske med globala nätverk för att skapa driftskompatibilitet. För att företag skall kunna bibehålla konkurrenskraft och möta kundernas förväntningar krävs produktionssystem med korta omställningstider och hög flexibilitet utan att kompromissa på kvalitet. Cyberfysikaliska system är ett centralt begrepp för den nya industriella eran. Systemet är utvecklat för att sammankoppla exempelvis flöden av olika slag. Detta möjliggör för exempelvis producerande företag att få en visuell överblick över flödet av material, från leverantör till kund. Genom att tillämpa systemet skapar en möjlighet att ge företag en förutsägbarhet gällande oväntade händelser. Oväntade händelser är möjliga för företag att förutse vid tillämpning av cyberfysikaliska system, vilket innebär att onödiga kostnader och avbrott kan undvikas.

1.2 Företagspresentation

Volvo Group Trucks Operations (GTO) i Skövde tillverkar motorer för tung fordonsindustri. Många delar av industrin kan anses vara högt automatiserade, trots detta finns det fortfarande monteringslinor bestående av näst intill uteslutande manuellt arbete. Ett exempel på detta är monteringen av motorkomponenter på Volvo GTO i Skövde. En anledning till att dessa stationer ännu inte har automatiserats är utmaningen i att implementera robotar som arbetar i nära samarbete med människor.

1.3 Problembeskrivning

I en utvald monteringslinje på Volvo GTO förekommer det i dagsläget enbart manuellt arbete, med en del monotona och tunga moment. Många av de moment som utförs på de fem stationerna kräver noggrann åtkomst, vilket innebär att åtkomsten är begränsad. Detta medför att flexibilitet och möjlighet till anpassning till förändrade förutsättningar är att föredra vid utförandet av dessa moment. Det finns en hög variation av varianter som monteras på stationerna, vilket innebär att ett eller flera moments utförande kan förändras beroende på produktvariant. Företaget strävar efter att effektivisera processen samt eliminera de moment som bland annat kategoriseras som icke ergonomiska.

Vissa arbetsmoment ger upphov till dolda kvalitetsbrister, vilket innebär stora kostnader i ett senare skede. En orsak till detta kan vara den mänskliga faktorn som brist på informationsspridning. Det kan även bero på varierande kroppsbyggnad samt längd hos medarbetarna.

1.4 Syfte

Syftet med projektet är att identifiera och utvärdera moment som en kollaborativ robot kan utföra på ett visst antal manuella monteringsstationer vilket skall resultera i ett implementeringsförslag. Detta innebär att lokalisera de moment som är monotona, belastande samt repetitiva för människan och i hög utsträckning ersätta dem med en kollaborativ robot. Implementeringsförslaget skall ligga till grund för en framtida linjebalansering på de manuella monteringsstationerna.

1.5 Mål

Huvudmålet är att utveckla en metod för att ta fram en specifikation som lägger grunden för implementering av en *Human Robot Collaboration* (HRC) station. Delmål som ligger till grund för att uppnå huvudmålet är följande:

- Undersöka relevant litteratur och forskning inom området linjebalansering och människa-robot samarbete, samt generella säkerhetsaspekter för kollaborativa robotar.
- Genomföra en nulägesanalys genom datainsamling med minst en relevant teknisk metod. Detta innebär att relevant litteratur och forskning tillsammans med insamlad data skall ligga till grund för nulägesanalysen.
- Baserat på nulägesanalysen undersöka möjligheter att implementera en kollaborativ robot för att minska antalet repetitiva och ergonomiskt belastande moment för montörerna.
    - Detta innebär att se över möjligheter för omfördelning av arbetsmoment för att förbättra den nuvarande arbetsplatsutformningen och föreslå en ny arbetssekvens

för människa-robot. Den nya arbetssekvensen skall inte överskrida den nuvarande TAKT-tiden. I detta ingår att identifiera, utvärdera och föreslå möjliga människa-robot-arbetssekvenser samt stationens fysiska utformning.

  - En layout skall genereras för implementeringsförslaget på berörd station.

- För att testa olika delmoment skall en fysisk robotdemonstrator utvecklas med syftet att utvärdera säkerhet, funktionalitet och kontrollera tidsåtgång.

1.5.1 Mätning av mål

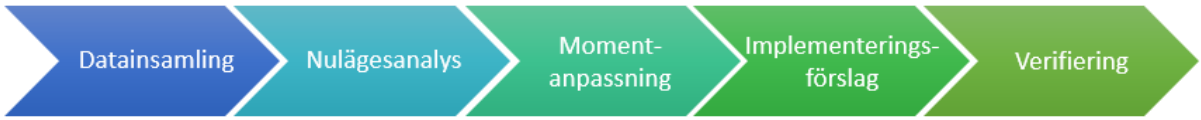
Genom att skapa mål som är mätbara kan en verifiering i slutet av projektet genomföras för att kontrollera att de uppnåtts.

- Verifiera cykeltid före samt efter momenten har delgivits roboten, i sekunder.
- Kontrollera robotens utnyttjandegrad, i procent.

1.6 Avgränsning och omfång

Arbetets avgränsning är satt att endast beröra högst fem manuella monteringsstationer. Projektet är även avgränsat till att inte effektivisera det nuvarande standardiserade arbetssättet på de fem stationerna. Avgränsningen är satt till att endast effektivisera det standardiserade arbetssättet som påverkas av momentanpassningen. Robotens användningsområden är avgränsat till att endast beröra monteringsarbeten som är liknande för majoriteten av varje produktvariant och på så vis öka utnyttjandegraden. Ergonomi- och säkerhetsaspekterna för implementeringsförslaget kommer att tas i beaktande när möjliga arbetsmoment för roboten med eller utan människan har identifierats.

Arbetets omfång berör fem steg, se Figur 2. Datainsamling eller tolkning av data utförs för att skapa en nulägesanalys av de manuella monteringsstationerna för att få en helhetsbild över flödet. Nulägesanalysen skapar ett faktaunderlag för att kunna utföra en framtida linjebalansering med fokus på att implementera en kollaborativ robot. Ett eller flera implementeringsförslag skall tas fram för att senare verifieras mot eller med en robotdemonstrator samt virtuell simulering. Verifieringen skall utföras så verklighetsanpassat som möjligt utefter examensarbetets förutsättningar.

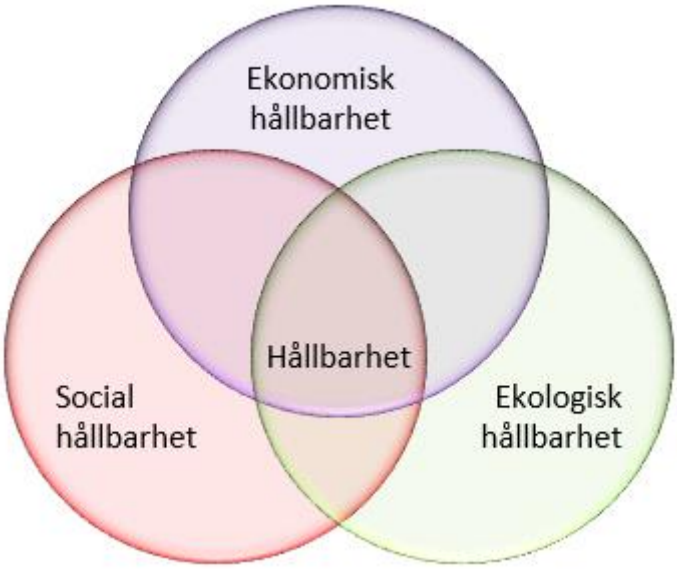


Figur 2: Projektets omfång

En UR10e kollaborativ robot finns till förfogande för att kontrollera och verifiera om vissa moment kan utföras med eller utan människan.

2 Hållbar utveckling

Begreppet hållbar utveckling innefattar tre huvudbegrepp och kan fördelas in i olika områden social-, ekologisk- och ekonomisk hållbarhet, se Figur 3. Hållbarhet kan definieras som nästkommande generations självklarhet att kunna leva utan begränsningar som dagens generation förorsakat. Detta innebär att nästa generation skall kunna leva tillfredsställande utan begränsningar gällande de tre huvudbegreppen. När begreppet hållbar utveckling kommer upp på agendan är det ofta att ordet direkt förknippas med enbart miljöaspekter. Hållbar utveckling handlar om mer än enbart dessa aspekter. De tre huvudbegrppen skall tillsammans definiera hållbar utveckling och har en stor betydelse i dagens samhällen gällande alla sektorer. Samhällets resurser kan delas in i olika typer av kapital naturkapital, realkapital, humankapital och socialt kapital. Naturkapital kan vara både förnybara och icke förnybara tillgångar, exempelvis skog och olja. Realkapital är produkter som människan har producerat som exempelvis fastigheter och båtar. Humankapital berör människans förmågor att skapa och utveckla samhället. Socialt kapital berör normer och kultur. Fokus för hållbar utveckling ligger vid att inte tömma jorden på resurser utan att leva på överskottet och i hög utsträckning leva på förnybara resurser. (Gulliksson & Holmgren, 2018)



Figur 3: Kopplingen mellan de tre hållbarhetsaspekterna

2.1 Social hållbarhet

Social hållbarhet berör människors lika värde och handlar om människors lika rättigheter att leva med goda förutsättningar. För att uppnå en god arbetsmiljö och livskvalitet bör även arbetsgivare vara involverade i hållbarhetsfrågor. Detta kan beröra exempelvis ergonomiska och stressrelaterade aspekter. Den demokratiska aspekten är inkluderad i social hållbarhet då den skapar förutsättningar att lösa problem tillsammans. Begreppet innefattar både den psykiska och fysiska aspekten hos människan. Tillsammans skall dessa aspekter tas hänsyn till både privat och i arbetslivet. Inom det sociala begreppet finns hos människan ofta en längtan efter att tillhöra grupper, där vikten ligger vid att tillsammans som grupp vara starka och där en ökad förutsättning för att åstadkomma gemensamma mål finns. Inom grupper kommer den demokratiska aspekten för social hållbarhet in. Detta då förutsättningarna för att åstadkomma gemensamma mål ligger exempelvis vid god

kommunikation, delaktighet, acceptans och fungerande problemlösning. (Gulliksson & Holmgren, 2018)

2.2 Ekologisk hållbarhet

Ekologisk hållbarhet berör naturen och deras resurser och berör även ekosystem. Ekosystemen kan ses som ett eget slutet system. För att uppnå en ekologisk hållbarhet ligger stor vikt vid att enbart leva på jordens förnybara resurser, vilket enkelt kan definieras som jordens ränta. (Gulliksson & Holmgren, 2018)

2.3 Ekonomisk hållbarhet

Ekonomisk hållbarhet skall ej öka på bekostnad av de andra aspekterna gällande hållbarhet. Detta innebär att affärsverksamheter och andra sektorer ej skall göra ekonomiska vinster genom att negativt påverka den sociala- och ekologiska hållbarheten. Ekonomisk hållbarhet kan öka genom att tillämpa olika tillvägagångssätt som strategier gällande lönsamhet och produktivitet ur ett företagsperspektiv. Det handlar om att skapa en balans mellan tillverkning och konsumtion. (Gulliksson & Holmgren, 2018)

2.4 Generella kopplingar till examensarbetet

Examensarbetet är starkt kopplat till de olika hållbarhetsaspekterna gällande flera faktorer. Den sociala hållbarhetsaspekten kan direkt kopplas till ergonomi och stressrelaterade arbetsförhållanden. Ergonomi är i dagens samhälle en viktig faktor att ta hänsyn till då icke ergonomiska arbetsförhållanden kan resultera i negativa effekter. Dessa negativa effekter kan både vara muskelrelaterade skador och utmattning vilket kan leda till sjukskrivningar av medarbetare. Stressrelaterade arbetsförhållande kan exempelvis öka risken för att misstag kan begås som kan leda till skador och defekter av produkter. Den ekologiska hållbarhetsaspekten handlar mycket om att minska risken för att exempelvis produkter blir defekta, vilket kan resultera i skrotning och onödiga omarbeten av produkter. Genom att minska risken för skrotning och omarbetning kan exempelvis både energiåtgången och materialåtgången minskas. En ökad produktivitet/effektivitet som uppnås genom att skapa en bättre arbetsplatsutformning är att föredra, vilket innebär att den ekonomiska hållbarheten skall ej öka på bekostnad av de andra aspekterna.

Genom att utföra en ombalansering med fokus på att implementera en kollaborativ robot identifieras de moment som kategoriseras som icke ergonomiska och utmattande. Detta bidrar till möjligheter att jämna ut arbetsbördan samt eliminera eller låta moment övertas av roboten. Den sociala hållbarheten kan även påverkas negativt i den utsträckning att både nya och befintliga arbeten kan komma att begränsas. Utbildning kan komma att vara en viktig del gällande arbete, styrning samt programmering av robotar. Detta kan i långa loppet ställa högre krav på medarbetarnas kunskapsnivåer.

3 Teoretisk referensram

Under rubriken teoretisk referensram undersöks de metoder och verktyg som tillämpas samt kan tillämpas, vilket ligger till grund för genomförandet av examensarbetet. Referensramen innefattar både förutsättningar som krävs för en linjebalansering samt generell automatisering och robotik.

3.1 LEAN koncept

LEAN konceptet kommer ursprungligen från Toyota Production System (TPS) där fokus ligger på att arbeta för att eliminera olika typer av slöseri. Konceptet är en övergripande filosofi som skapar möjligheter att arbeta mot ett optimalt arbetssätt om den nyttjas på rätt sätt. Detta innebär att konceptet måste skräddarsys för det specifika ändamålet. Det finns inte ett rätt tillvägagångssätt utan konceptet måste skräddarsys för varje enskilt företag. Tre kategorier av slöserier finns beskrivna inom LEAN muda, muri och mura och de berör slöseri, överbelastning och ojämnhet. Muda fördelas inledningsvis in i sju olika varianter av slöseri dock finns ytterligare slöserier som belyses. De sju grundkategorierna av slöseri är onödig väntan, överproduktion, onödiga rörelser, onödiga transporter, lagerhantering, överarbete och defekter. En ytterligare variant som ofta belyses är outnyttjad kreativitet hos medarbetarna. Medarbetarna är de som har kunskapen om hur processen verkligen fungerar, vilket innebär att deras åsikter och synpunkter bör utnyttjas vid förbättringsarbeten. Resultatet av att involvera medarbetarna kan bidra till högre arbetsmoral gentemot företaget och deras mål. Muri berör överbelastning av medarbetarna och maskiner, vilket innebär att fördelning av detta är en viktig aspekt. Genom att arbeta med att fördela arbetsbördan för bägge parter kan exempelvis kvaliteten förbättras. Ergonomiaspekter för människan och kapacitetsutnyttjande för maskiner bör ligga i fokus för att uppnå en mer hållbar process. Mura berör ojämnheter och är ofta relaterad till efterfrågan, vilket innebär att en ojämn efterfrågan kan bidra till ett ojämnt flöde. Ett ojämnt flöde kan bidra till överbelastning (muri) då produktionen blir ojämn. Det handlar om planering i alla steg, från leverantörer till kunder vilket kan bidra till ett jämnt och stabilt flöde. Inom LEAN finns det ett antal förbättringsverktyg och problemlösningsverktyg som kan nyttjas för att uppnå en robust och pålitlig process samt skapa en utgångspunkt för ständiga förbättringar. Verktyg som kan tillämpas är standardiserat arbete, 5S, visuell styrning och PDCA. (Bicheno, et al., 2011)

3.1.1 Standardiserat arbete

En förutsättning för att mätningar av processtider skall ge en så verklighetstrogen bild som möjligt av flödet är att arbetsgången är standardiserad. Standardisering innebär att skapa en standard för de arbetssätt som utförs, exempelvis arbetsinstruktioner. Målet med standardiserat arbete är att skapa repeterbara robusta processer. Standardiserat arbete är en grundsten för att bibehålla kontinuerlig förbättring. Detta kan generaliseras genom att exempelvis utföra en förändring men inte kunna påvisa om förändringen är en förbättring eller försämring då det inte finns en stabil utgångspunkt att jämföra mot. Standarder kan nyttjas på alla nivåer inom ett företag, allt från produktionspersonalen till ledningen. Olika verktyg och metoder kan tillämpas för att uppnå ett standardiserat arbetssätt. (Bicheno, et al., 2011)

3.1.1.1 5S

5S är ett verktyg som kan tillämpas för att skapa en grundförutsättning för att uppnå standardiserat arbete. Tillämpning av 5S kan bidra till att skapa en strukturerad arbetsplats och verktyget är uppdelat i fem steg. Stegen är sortera, strukturera, städa, standardisera och skapa vana. (Bicheno, et al., 2011)

3.1.1.2 Visuell styrning

Visuell styrning berör allt som är visuellt synligt för att tydliggöra processens tillstånd och tillvägagångssätt. Visuell styrning kan vara ett hjälpmedel för att uppnå ett standardiserat arbetssätt då metoden går ut på att visualisera processens tillstånd på flera plan. Metoden innefattar allt från indikationslampor till 5S. Ett tydligt exempel är en kompetensmatris, där en matris ger en visualisering av medarbetarnas kunskapsnivåer gällande moment och arbetsstationer. (Bicheno, et al., 2011)

3.1.1.3 PDCA

PDCA är en metod och står för plan, do, check och act. Metoden kategoriseras som ett förbättringsverktyg och är en kontinuerlig cykel, vilket innebär att den är repeterbar. Fokus vid tillämpning av detta verktyg är att lägga mycket av arbetet på planeringsfasen. Verktygen går ut på att identifiera exempelvis ett problem och dess rotorsak och arbeta med att finna den mest optimala lösningen. En viktig aspekt vid tillämpning av detta verktyg är att identifiera vilka som kan påverkas av förändringen. Detta för att undvika att skapa en förbättring för några parter som kan resultera i en försämring för andra. Vid identifiering av ett problem bör i planeringsfasen fokus ligga på att identifiera rotorsaken, vilket innebär att datainsamling kan bli nödvändigt för att finna orsaken. Detta kommer att ligga till grund för möjliga lösningsförslag. Genomförandefasen innebär att förslagen testas för att finna den mest lämpade lösningen. I kontrolleringsfasen skall lösningen kontrolleras för att undersöka om problemet eliminerats. En fungerande lösning skall i agerandefasen standardiseras. Som tidigare nämnts skall cykeln vara kontinuerlig, vilket innebär att faserna kan behöva upprepas i flera omgångar innan en optimal lösning identifieras. (Bicheno, et al., 2011)

3.2 Datainsamling

Två datatyper som används för att samla in data är kvantitativ och kvalitativ. Kvantitativ data berör siffror och kan tillämpas vid undersökningar med givna svarsalternativ. Kvalitativ data är i motsats till kvantitativ data inte baserad på siffror utan på öppna svarsalternativ. Beroende på efterfrågan ligger vikt vid att identifiera vilken typ av data som är mest tillämpningsbar för det specifika ändamålet. Kvantitativ data kan exempelvis innebära att tid blir uppmätt där ett medelvärde efterfrågas. Kvalitativ data kan exempelvis tillämpas genom en intervju för att fånga mer subjektiva aspekter. (Oates, 2006)

3.2.1 Tidsstudie

För att fastställa tider för moment eller cykler kan olika varianter av tidsstudier tillämpas. Det handlar om att få fram ett standardvärde som kommer att ligga till grund för standardisering av tidsåtgång i flödet (Nationalencyklopedin, u.d.).

Enligt Freivalds & Niebel (2013) finns det olika typer av metoder att tillämpa genom observationer för att mäta eller uppskatta tider för moment. Författarna påpekar att innan en tidsstudie påbörjas finns det viktiga faktorer som måste tas i beaktande. Dessa faktorer handlar om att de moment som skall utföras behöver vara standardiserade. Detta till den grad att operatören skall ha all den nödvändiga kunskapen samt erfarenheten för att utföra arbetet på ett korrekt sätt. Detta handlar även om att variationer under utförandet av momentens ordningsföljd av olika operatörer bör undvikas. Innan en tidsstudie påbörjas skall berörd personal informeras samt att utgångsläget för stationerna som skall observeras är strukturerade och väl förberedda. Enligt Freivalds & Niebel (2013) ligger stor vikt vid att de som utför studien är väl förberedda och har kunskap gällande arbetsgången på stationerna.

3.2.1.1 Klockstudier

Klockstudier är vanligt förekommande och baseras på två olika tillvägagångssätt där ett tidtagarur används. Antalet observationer som skall utföras baseras på hur lång cykeltid de olika momenten har, se Figur 4.

Table 10.2 Recommended Number of Observation Cycles

Cycle time (min)	Recommended number of cycles
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00–5.00	15
5.00–10.00	10
10.00–20.00	8
20.00–40.00	5
40.00–above	3

Source: Information taken from the Time Study Manual of the Erie Works of the General Electric Company, developed under the guidance of Albert E. Shaw, manager of wage administration.

Figur 4: Antal observationer (Freivalds & Niebel 2013, s. 432)

Det första tillvägagångssättet går ut på att kontinuerlig mäta alla moment i en cykel utan att stanna klockan. Momenten kan bestå av ett eller flera element. Mätningen utförs på det vis att vid cykelns start startas klockan och vid varje elementbyte noteras tiden. Då tiden noteras för varje element under en kontinuerlig mätning är efterarbete nödvändigt. Detta för att beräkna varje elements enskilda tid. För att beräkna cykeltiden vid varje enskilt element måste det föregående elementens uppmätta tid subtraheras från det aktuella momentet. Fördelen av att tillämpa denna metod är att ingen tid samt inga moment under cykeln försummas, då klockan går kontinuerligt under mätningen. (Freivalds & Niebel, 2013)

Det andra tillvägagångssättet går ut på att mäta varje enskilt element, vilket innebär att klockan nollställs mellan dessa i cykeln. Denna metod ger en direkt uppmätt tid för varje element oavsett i vilken ordning de utförs under cykeln och kräver inget efterarbete. En viktig faktor att ha i åtanke vid tillämpning av denna metod är att väntan mellan element inte noteras. Mätningen sker från att elementet påbörjas till dess att det avslutas. Vid tillämpning av denna metod ligger stor vikt vid att ha

kunskap om att den tid ett element tar kan komma att förändras, om elementen utförs i en annan ordningsföljd. Till skillnad från den första metoden är detta tillvägagångssätt mindre lämplig att utföra vid kortare element då det kan vara svårt att mäta en korrekt tid. (Freivalds & Niebel, 2013)

Vid tillämpning av klockstudier finns det ett antal begrepp och aspekter som skall beaktas vid utförandet. Det finns fyra kolumner som skall antecknas vid utförandet av klockstudier. Den första kolumnen R, berör prestationsförmågan hos operatören, vilket innebär att observatören måste bedöma vilken tempo operatören arbetar i. R bedöms procentuellt med utgångspunkt på 100 % som bedöms som normalt tempo. För att utföra en rättvisande bedömning av prestationsförmågan hos en operatör krävs erfarenhet från observatören. Den andra kolumnen W är den aktuella tiden klockan står på när momentet slutförs. Den tredje kolumnen OT är den observerade tiden för varje enskilt moment. Den fjärde och sista kolumnen är NT, vilket är den beräknade normaltiden för varje enskilt moment med hänsyn till prestationsförmågan hos operatören som utför momentet. För att beräkna en standardtid måste hänsyn till en faktor gällande exempelvis utmattning, andra nödvändiga behov samt oundvikliga avbrott tas i beaktande. För att hänsyn skall tas används en procentuell ökning av normaltiden. Den procentuella andelen bör ligga över 9 till 10 procent och den resterande faktorn utgår mycket från hur utmanande arbetet som utförs är. (Freivalds & Niebel, 2013)

Enligt Bicheno et al. (2011) är videofilmning av arbetsmoment att föredra, då momenten kan kontrolleras på detaljnivå. Genom att spela in sekvenser kan de återupprepas för att ge en bättre helhetsbild. Författarna påpekar även att operatörerna undgår att påverkas negativt i samma utsträckning vid videofilmning som vid manuell tidtagning, vilket kan bidra till en mer stressande miljö. Flera aspekter måste tas i beaktande under insamlingen av data. Observationer bör utföras på varje skift med olika operatörer för att få en rättvisande bild av momenten. Enligt författarna är denna aspekt av relevans för att finna variationer av arbetssätt och arbetsgång.

3.2.1.2 Frekvensstudie

En frekvensstudie går ut på att fånga ögonblicksbilder av ett flöde eller cykel med ett förutbestämt antal observationer, för att senare beräkna i vilken proportion de olika momenten har utförts. Ett av flera tillämpningsområden för studien är att bestämma standardtider. Det finns två olika tillvägagångssätt att utföra ögonblicksobservationer på, förutbestämt tidsintervall och ranväldigiserat tidsintervall (Bredberg, 2018). Antalet observationer och tidsåtgång för studien beror på flera faktorer. Faktorerna berör variation av arbetssätt samt en uppskattad proportion av det som eftersöks. Beroende på vad som skall mätas med studien kategoriseras momenten som skall undersökas på olika detaljnivåer. Fördelar med att tillämpa en frekvensstudie jämfört med tidsstudier är att den är mindre kostsam, går fortare att utföra samt att påverkan på operatörerna minskar då endast ögonblicket observeras (Freivalds & Niebel, 2013).

3.2.1.3 Predetermined Time System (PTS)

PTS är en metod som tillämpas för att beräkna standardtider. Det finns olika tillvägagångssätt att tillämpa som exempelvis MOST och MTM-baserade metoder. Metoderna skiljer sig åt på olika sätt. Några av metoderna är mindre tidskrävande att utföra och andra tar hänsyn till fler aspekter, vilket gör utförandet mer tidskrävande. För att kunna utföra en PTS på en station eller process krävs det ofta utbildning av den specifika metoden för att resultatet skall vara rättvisande. Generellt handlar metoderna om att kontrollera arbetsmomenten på detaljnivå för att identifiera varje rörelse samt notera och kategorisera dem. Varje rörelse som utförs kommer att få en siffra och noteras under en specifik kategori. Beroende på vilken metod som tillämpas kommer siffran representera en beräknad tid i olika enheter som senare omvandlas till sekunder. MTM använder TMU som enhet vid beräkning av tidsåtgång och en TMU motsvarar 0,00001 timme. En fördel med att tillämpa en PTS metod är att

den kan utföras i förväg utan att exempelvis den fysiska stationen är utformad. (Freivalds & Niebel, 2013)

3.2.1.4 MTM-SAM

MTM tillämpas för att som nämnts ovan beräkna tidsåtgången för element med hjälp av att kontrollera moment på detaljnivå. Detaljnivån berör allt från rörelser mellan element till användning av verktyg samt dess precision och applicerade kraft. SAM är en förenklad variant av MTM och är en vanligt förekommande metod att tillämpa på manuella stationer i Sverige. (MTM-Föreningen i Norden, u.d.)

3.2.1.5 Historisk data

Data som samlats in i ett tidigare skede med någon typ av datainsamlingsmetod eller med ett datorprogram kan kategoriseras som historisk data. Enligt Freivalds & Niebel (2013) är historisk datainsamling en metod som handlar om att exempelvis lagra data genom att successivt spara tider för olika moment eller element. De sparade tiderna kommer senare ligga till grund för standardtider.

3.2.1.5.1 AviX

AviX är ett helhetssystem som är utvecklat för att underlätta insamling och datahantering gällande bland annat metod- och tidsstudier, FMEA och linjebalansering. Genom att tillämpa AviX kan användare uppnå förbättringar på kort tid då lagrad information samlas och är lätt att lokalisera. Förändringar som utförs inom ett område påverkar relaterad data. (SOLME AB, 2018)

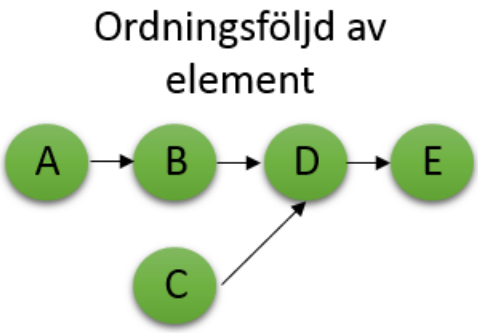
3.2.2 Intervju

En intervju tillämpas för att undersöka eller identifiera exempelvis problem som uppkommer och som behöver utvärderas ur ett bredare perspektiv. Intervjun baseras på det som efterfrågas och är utformad för att beröra ämnet som undersöks utan att ställa ledande frågor. Det finns tre olika varianter av intervjuer strukturerad, semistrukturerad och ostrukturerad. Strukturerad intervju innebär att endast de förutbestämda frågorna ställs till alla deltagarna. Semistrukturerad intervju lämna däremot en liten öppning för diskussion där icke förutbestämda frågor kan förekomma. Ostrukturerad intervju innebär att deltagarna inte får förutbestämda frågor utan endast introduceras till ämnet. (Oates, 2006)

3.3 Linjebalansering

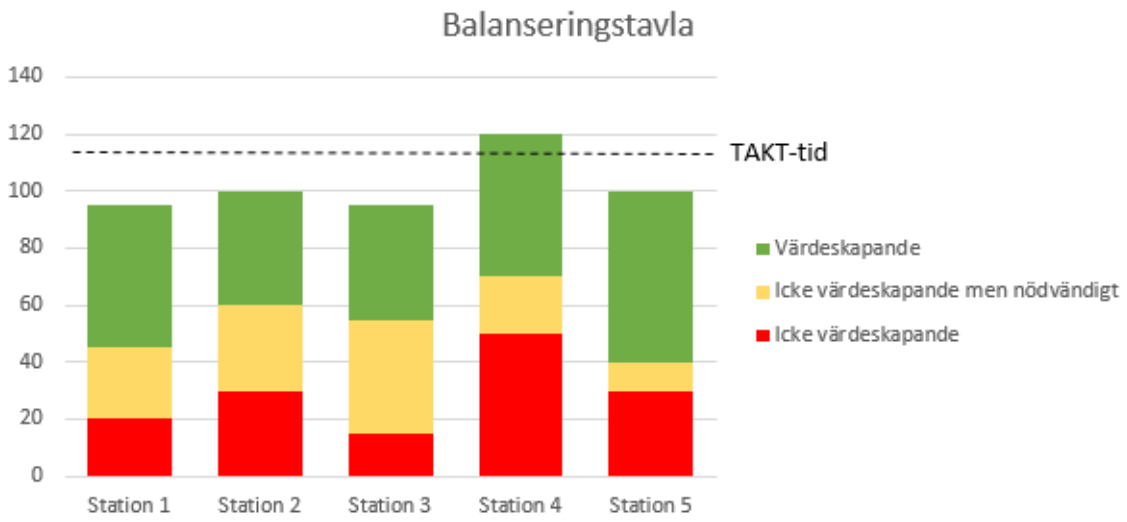
Det finns ett antal tillvägagångssätt för att jämna ut en produktion. Processen startas med att beräkna antalet nödvändiga medarbetare samt identifiera flaskhalsar i processen. Flaskhalsen kan definieras som den station eller del av processen som har den längsta eller mest varierande cykeltiden. Det första tillvägagångssättet är att arbeta för att minska cykeltiden vid flaskhalsen med hjälp av att öka arbetsstyrkan eller arbetstiden. Detta kan innebära att en parallell station kan tillkomma, moment som kan utföras samtidigt identifieras eller arbeta för att skapa en buffert. Effektivisering av stationer med lämpliga metoder är ett annat tillvägagångssätt att nyttja vid linjebalansering. Ett annat alternativ berör fördelning av arbetsmoment över flera stationer, vilket också kan innebära att moment kan brytas ned till element och omfördelas. För att kunna omfördela element från olika stationer ligger stor vikt vid att granska samt identifiera den ordningsföljd som krävs för att kunna utföra arbetet, se Figur 5. En annan viktig aspekt att ha i åtanke är hur omfördelningen av element påverkar hanteringen av både material samt verktyg som nyttjas.

Balanseringsmetoden kan tillämpas på ett flertal olika processtyper som till exempelvis celler och flödesprocesser. (Freivalds & Niebel, 2013)



Figur 5: Ett exempel på ordningsföljd

För att uppnå en optimal process bör cykeltiden vara 90 % av TAKT-tiden. Detta beroende på att variationer kan uppstå vid utförandet, vilket kan ha stor effekt på cykeltiden. Ett verktyg som kan tillämpas för att visualisera processens nuläge kallas Yamazumi board eller balanseringstavla. Tavlan är uppbyggd på så vis att alla moment vid exempelvis en station tillsammans skapar en stapel, se Figur 6. Stapeln i sin tur kan vara fördelad i olika färger för att symbolisera olika kategorier av arbete, värdeskapande (grön) och icke värdeskapande (röd). (Bicheno, et al., 2011) Gul färg kan även tillämpas och symboliserar icke värdeskapande men nödvändiga moment.



Figur 6: Ett exempel på en balanseringstavla

3.4 Automatiserade processer

Processer som kan åstadkommas utan mänsklig involvering kategoriseras som automatiserade processer. För att göra en automatiserad process möjlig att uppnå, finns tre nyckelpunkter som skall nyttjas. Första nyckelpunkten berör strömförsörjning vilket är nödvändigt för att få utrustningen att fungera. Den andra nyckelpunkten berör instruktioner och dess programmering. Den sista nyckelpunkten berör det överordnade systemet som tillämpas för att samordna information för att få systemen att samverka. Det finns olika kategorier av automation, vilket berör nivån av automatiserade delar i ett flöde eller cell. (Groover, 2015)

3.5 Industrirobotar

Robotar inom industrin har olika tillämpningsområden gällande flera aspekter. Det finns inom industrin ett flertal olika varianter av robotar lämpade för både specifika och flexibla arbetsuppgifter, beroende på dess konfiguration. De kan arbeta i miljöer som kan utgöra en fara för människan samt vid repetitiva arbetsuppgifter som kräver hög precision. Robotar kan tillämpas för att öka produktiviteten samt ersätta människan vid icke ergonomiska och skadliga moment. Industriella robotar är programmerbara, vilket innebär att de med varierande kringutrustning kan skräddarsys till specifika arbetsuppgifter. Robotarna kan vara mobila eller fixerade, vilket innebär att de kan förflytta sig för att utföra arbetsuppgifter på flera platser. För att kategoriseras som en industrirobot behöver den bestå av minst tre axlar eller leder. Robotens axlar kan vara utformade på olika sätt för att ge industriroboten flexibilitet. Industriroboten kan använda olika varianter av gripdon och verktyg för att utföra arbetsuppgifter. Ett gripdon kan tillämpas för att hämta och lämna produkter eller material. Verktyg kan tillämpas för att exempelvis bearbeta en produkt, verktyget kan då vara en borr eller svets. Industriroboten kan vara utrustad med sensorer, både interna och externa. Interna sensorer kategoriseras som de som kontrollerar robotens precisa position samt hastighet. Externa sensorer kategoriseras som de som skapar möjlighet att samverka med externa system, exempelvis ge feedback när material är redo att hämtas. (Groover, 2015)

3.6 Swedish Standard Institute (SIS)

SIS är en organisation som tillsammans med andra globala och internationella standardiseringsorganisationer så som ISO och CEN skapar riktlinjer och krav. Standarderna berör aspekter gällande exempelvis säkerhet, kvalitet och miljö. Dessa riktlinjer och krav skall uppfyllas för att kunna bli certifierade inom specifika områden. (Swedish Standards Institute, u.d.)

3.7 Kollaborativa robotar

En kollaborativ robot är en robot som skall kunna arbeta tillsammans med människan. Roboten är utvecklad för att i nära kontakt kunna arbeta på ett riskfritt sätt där människors säkerhet skall vara säkerställd. För att kunna implementera en kollaborativ robot skall de moment och ytor som roboten skall utföra och arbeta vid genomgå en riskanalys. Riskanalysen innebär att momenten kontrolleras och utvärderas för att eliminera situationer som kan medföra skaderisker för medarbetare. Detta kan innebära att ett befintlig sekvensutförande skall vara framtaget för att kunna upptäcka bristande säkerhet. Det finns ett flertal ISO standarder som tillsammans skall nyttjas för att säkerställa att säkerhetsaspekterna för robotens specifika arbetsutförande uppfylls. (SIS-ISO/TS 15066:2016)

För att kunna kontrollera säkerhetsaspekterna är det av stor vikt att de moment och den tänkta arbetsytan för den kollaborativa roboten är identifierad.

3.7.1 Nivåer av människa-robot samarbete

Enligt Bauer et al. (2016) finns det fyra nivåer av människa-robot samarbete:

- *Human-Robot Coexisting:* Delar inte arbetsyta, dock arbetar de intill varandra.
- *Human-Robot Synchronization:* Inga gemensamma arbetsmoment, dock delar de arbetsyta.
- *Human-Robot Cooperation:* Delar arbetsyta men arbetar inte med samma komponenter.

- *Human-Robot collaboration:* Delar arbetsyta samt arbetar på samma produkter samtidigt.

3.7.2 Generella kollaborativa metoder

Samverkande arbetsyta, *Human-Robot Collaboration*, vilket innebär att roboten och människan utför arbetsuppgifter eller moment inom samma arbetsområde samtidigt. Standarden beskriver fyra kollaborativa metoder gällande samverkande arbetsyta *safety-related monitored stop*, *hand guiding*, *speed and seperation monitoring* och *power and force limiting*. (SIS-ISO/TS 15066:2016)

Safety-rated monitored stop, är en funktion som kollaborativa robotar kan bestå av. Funktionen bidrar till att robotens rörelse upphör om en medarbetare beträder robotens arbetsområde. Detta är en funktion som är framtagen för att säkerställa att medarbetarna och den kollaborativa roboten skall kunna arbeta tillsammans utan att risk för skador uppstår. Den kollaborativa robotens arbetsområde skall även vara begränsat, vilket innebär att roboten inte skall röra sig utanför sitt arbetsområde. Detta innebär att robotens arbete inte skall påverkas av medarbetare eller utrustning som rör sig utanför robotens arbetsområde. (SIS-ISO/TS 15066:2016)

Hand guidning, är ett arbetssätt som innebär att medarbetaren styr roboten till en önskad position. Medarbetaren kan med hjälp av fysisk kraft genom kontakt mellan människa och roboten manövrera den på olika sätt beroende på önskat resultat. Innan detta arbetssätt kan påbörjas skall robotens *safety-rated monitored stop* vara aktiverat. (SIS-ISO/TS 15066:2016)

Speed and seperation monitoring, berör den minst tillåtna distansen mellan människa och robot. Om den minsta distansen mellan människa och robot överskrids skall roboten upphöra att arbeta. Om distansen mellan människan och roboten inte längre överskrider den tillåtna distansen skall roboten återuppta sitt arbete. Ju lägre hastighet roboten arbetar i ju närmare en människa får den arbeta. (SIS-ISO/TS 15066:2016)

Power and force limiting, handlar om att begränsa robotens kraft vid arbete med en människa. Detta beskrivs som en metod där människan och roboten utför arbetssekvenser tillsammans där fysisk kontakt kan uppstå. För att minska riskerna med denna arbetsmetod skall begränsningar fastställas under en riskanalys. (SIS-ISO/TS 15066:2016)

3.7.3 UR robotar

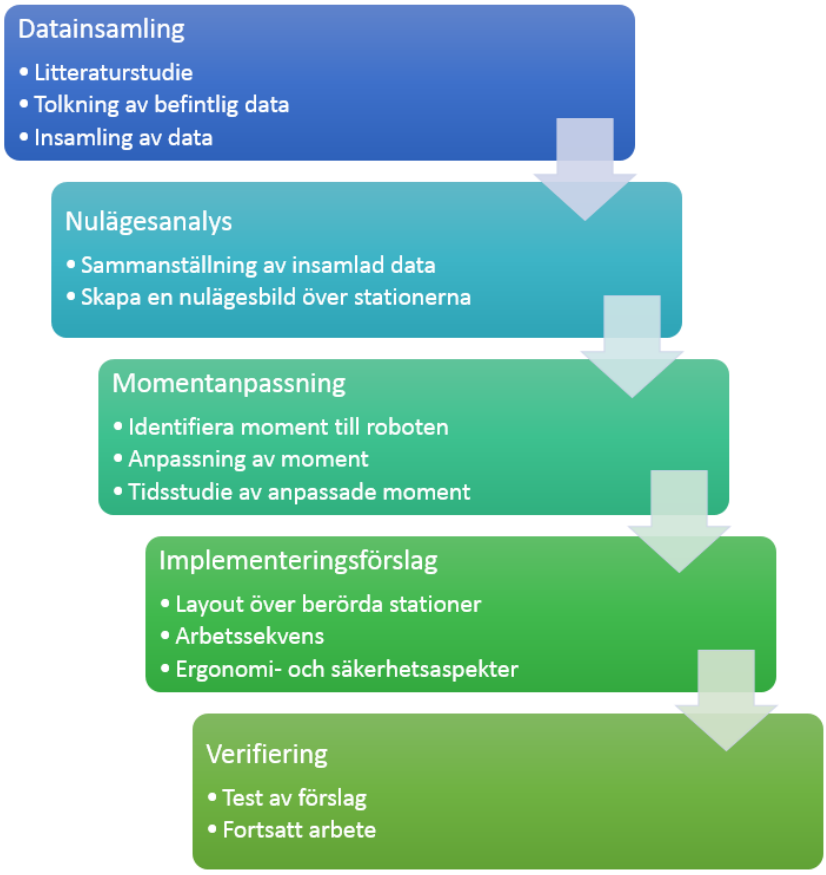
Universal robots även kallat UR robotar är sex-axlade robotar. UR robotarna är utformade för att samverka med människan och besitter ett flertal användningsområden. Robotarna är utformade för att kunna utföra moment som exempelvis plock och placering, montering av olika slag, paketering, kvalitetskontroller och skruvdragning. Fem fördelar med att implementera en UR robot är snabb installation, enkel att programmera direkt via robotens kontrollpanel (online-programmering), hög flexibilitet, skapad för att arbeta tillsammans med människan på ett säkert vis och snabb återbetalning. Den senaste lanserade serien har fått beteckningen e-series och har till skillnad från föregående serie ett antal nya funktioner. En ny funktion som e-serien består av är inbyggda kraft- och momentsensorer. E-serien har tre olika modeller UR3e, UR5e och UR10e. Skillnaden mellan dessa modeller är först och främst storleken på robotarna, där UR3e är den minsta UR roboten, detta innebär att de olika modellerna har varierande räckvidd. Siffran i modellens namn står för robotens lyftkapacitet i kilogram. Lyftkapaciteten uttryckts som nyttolast vilket innebär att verktygets vikt inte är inkluderat. Detta innebär att UR3e har en nyttolast på tre kilogram och UR10e 10 kilogram. UR robotarna är anpassningsbara och kan med hjälp av ett flertal olika tillbehör som exempelvis verktyg och gripdon skräddarsys för specifika arbetsuppgifter. UR robotarna är utrustade med ett flertal olika säkerhetsfunktioner. (UR, 2019) Teknisk specifikation för UR10e finns tillgänglig i Bilaga A.

4 Metod

Detta avsnitt redogör för de tillvägagångssätt och metoder som tillämpats under arbetets gång. Referensramen, litteraturstudien samt hållbar utveckling ligger till grund för metodens arbetssekvens.

4.1 Arbetssekvens

Arbetssekvensen är fördelad i fem steg datainsamling, nulägesanalys, momentanpassning, implementeringsförslag samt verifiering, se Figur 7.



Figur 7: Arbetssekvens över examensarbetet

Arbetssekvensen är tänkt att utföras uppifrån och ner, dock kan återkoppling till tidigare steg vara nödvändigt.

4.1.1 Datainsamling

En datainsamling berör relevant data som kan ligga till grund för att skapa en nulägesanalys. (Oates, 2006)

Tolkning av befintlig data kan beröra tidigare insamlad data. Genom att nyttja tidigare insamlad data istället för att samla in ny kan onödig tidsåtgång undvikas. Då Volvo GTO har både standardtider och filmer av moment som utförs på de befintliga stationerna som detta arbete berör kan dessa ligga till grund för analyser. Datainsamling, som tidigare beskrivs under referensramen och tidsstudier kommer att nyttjas på de relevanta stationer och moment som i dagsläget inte är analyserade.

4.1.1.1 Litteraturstudie

Syftet med en litteraturstudie är att undersöka befintlig forskning inom området för arbete. Genom att analysera tidigare erfarenheter och resultat kan slutsatser om lämpliga metoder och tillvägagångssätt fastställas. Vid analysering av litteratur och tidigare forskning kan fallgropar undvikas. Detta innebär att lärdomar från tidigare misstag kan tas i beaktande och undvikas. (Höst, et al., 2006)

4.1.2 Nulägesanalys

Analys av insamlad data skall generera en bild av nuläget där både moment och sekvenser tas i beaktande. En nulägesbild över stationerna skall ge den information som är nödvändig för fortsatt arbete. Informationen berör layout, moment som är generella för alla produktvarianter och befintliga sekvenser. Tider för moment och element skall tas i beaktande och nyttjas för att skapa en bild över nuläget. För att kunna skapa en nulägesanalys behöver standardtider och standardiserade arbetssätt vara implementerat. Den ordningsföljd som är nödvändig för de berörda moment samt element skall identifieras.

4.1.3 Momentanpassning

Moment för både robot och människa skall identifieras. Detta innebär att separata och gemensamma moment skall genereras. Ergonomin är en viktig aspekt vid identifiering av momenten då arbetet lägger stor vikt vid att eliminera tunga och monotona moment. Tester med UR10e skall utföras för att verifiera att roboten kan utföra de identifierade momenten. Detta gäller både moment för enbart roboten men även moment som skall utföras tillsammans med en medarbetare. Vid identifiering av dessa moment skall de specifika nivåerna av samarbete identifieras och baserat på de skall generella säkerhetsaspekter tas i beaktande. Enligt Bicheno et al. (2011) är en viktig aspekt att ha i åtanke under momentanpassningen är att inte enbart fokusera på att minimera cykeltider utan att också arbeta för att jämna ut arbetsbördan.

Anpassning av moment för roboten och människan skall utföras för att kunna bibehålla den procentuella TAKT-tiden för stationerna. En viktig aspekt som skall tas i beaktande är den kringutrustning som är nödvändig för att utföra arbetsuppgifterna. Då yta är extremt värdefull skall en undersökning av antal nödvändiga stationer och medarbetare utföras. Tid skall mätas upp i den utsträckning som är möjlig genom att fysiskt testa arbetssekvenser tillsammans med roboten. Detta skall ligga till grund för en framtida linjebalansering.

4.1.4 Implementeringsförslag

Layout över berörda stationer skall skapas där en kollaborativ robot skall ingå som underlag till implementeringsförslaget. Generering av ett nytt förslag på en arbetssekvens på berörda stationer ska tas fram. Detta innebär att befintliga tider samt uppmätta tider skall nyttjas för att verifiera att den satta TAKT-tiden inte överskrids.

4.1.5 Verifiering

Ergonomi- och säkerhetsaspekter skall även ligga som underlag för verifiering av förslaget. Detta kommer ske genom att i så stor utsträckning som möjligt testa förslaget både vid robotdemonstratorn samt virtuellt, då stora fördelar med virtuell simulering har analyserats. Den virtuella verifieringen kommer att ske under arbetes gång, vilket innebär att överlämning av

momentförslag kommer att ske kontinuerligt till examensarbetet, Människa-robot samarbete med hjälp av virtuell simulering. Resultatet kommer att ligga till grund för den utvecklade metoden.

Som fortsatt arbete bör en riskanalys utföras på de tilltänkta moment som roboten skall utföra. Enligt tidigare analyserad forskning bör en riskanalys utföras när arbetssekvensen och arbetsplatsen är utformad. Riskanalysen skall utföras för att utvärdera säkerheten på de tilltänkta momenten där ISO standarderna ligger till grund för analysen.

5 Litteraturstudie

I detta avsnitt redogörs befintlig forskning gällande linjebalansering samt tillämpningsområden för kollaborativa robotar. En möjlig verifieringsmetod har även analyserats för fortsatt arbete.

5.1 Fokus vid Linjebalansering

Multi-Objective Assembly Line Balancing Considering Component Picking and Ergonomic Risk (Bortolini, et al., 2017)

Bortolini et al. (2017) påpekar att om fokus vid en linjebalansering av manuella stationer endast ligger på att minimera cykeltiderna per station, kan belastningen för medarbetarna bli ojämnt fördelad. Detta innebär att vissa stationer kan bli mer ansträngande för medarbetarna att arbeta vid. Under utförandet av en linjebalansering anser de att fokus därför bör ligga på mer än ett mål, vilket innebär att fokus kan ligga på en kombination av exempelvis att minimera cykeltiden samt fördela ut arbetsbördan. Fallstudien inkluderar hela momentsteget, från plockning av komponenter till montering. Arbetsbelastningen i fallstudien är direkt kopplad till ergonomiska faktorer.

Utformningen av stationerna för att ta hänsyn till båda aspekterna ligger vid att kombinera enkla monteringsmoment där fler och lättare komponenter nyttjas. Tyngre och mer ansträngande komponenter kombineras med färre antal moment för att skapa en balans mellan stationernas arbetsbelastning. Resultatet av studien påvisar att en kombination av målen är att föredra, då den ena faktorn påverkas negativt om endast den andra ligger i fokus. (Bortolini, et al., 2017)

5.2 Människa-robot samarbete

Collaborative Manufacturing with Physical Human-Robot Interaction (Cherubini, et al., 2016)

Det finns ett flertal fördelar med att implementera en kollaborativ robot. De två främsta fördelarna som Cherubini et al. (2016) diskuterar är de sociala och ekonomiska faktorerna. De påvisar att en kollaborativ robot kan vid implementation reducera arbetsbelastningen. Detta genom att arbeta tillsammans med människan på ett så pass säkert vis att säkerhetsstandarder kan efterföljas. Genom att reducera arbetsbelastningen kan de två faktorerna påverkas positivt. Skador som kan uppkomma vid manuellt ergonomiskt belastande arbete och de kostnader som de kan bidra med kan reduceras. Under arbetet har de fokuserat på en specifik arbetsstation där ergonomin är bristfällig. Detta är anledningen till att arbetet har utförts på den specifika stationen. Arbetet i fallstudien utfördes utefter en specifikation baserat på specifika arbetsmoment samt ISO standarder gällande olika säkerhetsaspekter. Resultatet av studien medförde i en förlängd cykeltid av stationen vilket i sin tur kan ha uppkommit på grund av ett antal faktorer. Dessa faktorer berör exempelvis hastighet på den kollaborativa roboten, medarbetarens minskade procentuella arbetsinsats och utformning av stationen. Då den kollaborativa roboten frigjort tid från medarbetaren kan denna tid spenderas på andra arbetsuppgifter samt att stationens ergonomiska påverkan har minskat.

Design of a Human-Robot Collaborative Assembly Workplace (Mateus, et al., 2019)

Fallstudien presenterar en metodologi gällande ett tillvägagångssätt för att skapa en *human-collaboration work station*. Studien presenterar en metod och fördelar in den i fyra olika block, vilket i sin tur är fördelade i olika steg. Tillsammans skapar stegen ett underlag för ett implementeringsförslag där hänsyn tas till ISO standarderna gällande säkerhetsaspekter för robotar och samverkan mellan medarbetare. Metoden hanterar allt från komponentens uppbyggnad och

sammansättning till undersökning och skapandet av detaljerade sekvenser, för både medarbetaren och roboten. Metoden lägger stor vikt vid att identifiera och minimera aspekter som är icke ergonomiska och risker gällande farliga miljöer. (Mateus, et al., 2019)

Det första blocket som beskrivs i metoden berör komponenters uppbyggnad samt tillvägagångssättet och ordningsföljden för hur de bör monteras. All nödvändig information gällande komponenterna bör undersökas och den information som de förespråkar att nyttja är CAD modellerna av komponenterna. Det efterföljande blocket handlar om att granska och på detaljnivå skapa beskrivningar av de olika moment som tillsammans skall generera en färdigmonterad produkt eller komponent. I detta steg ligger fokus också på att skapa arbetsmetoder som är tekniskt genomförbara. Det tredje blocket är fördelat i två parallella grenar och utvärderar varje moment. En gren innebär att lokalisera och utvärdera ergonomiska aspekter gällande arbetsmoment och nödvändig kringutrustning. Den andra grenen innebär att utvärdera vad roboten kan utföra och de nödvändiga säkerhetsåtgärder som behöver tillämpas. Det fjärde och sista blocket identifierar och utvärderar vilka moment som är lämpliga att låta roboten utföra, vilket baseras på de tidigare blocken. (Mateus, et al., 2019)

Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line (El Makrini, et al., 2018)

El Makrini et al. (2018) introducerar de färdigheter som en kollaborativ robot kan bidra med inom fordonsindustrin, vilket även innefattar montering med olika produktvarianter. En kollaborativ robot kan bidra med styrka och precision där en fullt automatiserad lösning inte är tillämpningsbar i dagsläget. Anledningarna som de beskriver för att en helt automatiserad lösning ej är tillämpningsbar handlar om variationsbredden av produkter, känsligt material och komplexitet i processen. Tillsammans med medarbetare kan robotens färdigheter nyttjas för att uppnå hög kvalitet och minska arbetsbelastningen. Genom att implementera en kollaborativ robot kommer medarbetarna inte påverkas fysiskt i samma utsträckning som vid en helt manuell produktion. Detta innebär att fokus ligger på att minska medarbetarnas arbetsbelastning för att undvika exempelvis kroppsliga skador. Ett experiment som utförts påvisar att medarbetarna hade större acceptansnivå gällande att arbeta med en kollaborativ robot om den gav någon form av återkoppling under arbetets gång. En svårighet som belyses i fallstudien berör säkerhetsaspekterna gällande införandet av en kollaborativ robot. Säkerhetsaspekterna är i nuläget bristfälliga, vilket bidrog till att fysiskt samarbetet med den kollaborativa roboten undveks i så stor utsträckning som möjligt. (El Makrini, et al., 2018)

Design Considerations for Safe Human-robot Collaborative Workplaces (Michalos et al, 2015)

Författarna påpekar att implementering av kollaborativa robotar är ett lämpligt tillvägagångssätt för att kunna skapa flexibla arbetsprocesser. Detta då kollaborativa robotar är flexibla och tillämpningsbara inom ett brett antal arbetsområden. Varje arbetsplats eller process bidrar till olika säkerhetsrisker som varierar från fall till fall. Detta innebär att där en kollaborativ robot implementeras skall en utförlig genomgång av de säkerhetsrisker som kan uppstå utvärderas. De förklarar att enskilda framtagna säkerhetsstandarder inte alltid täcker de säkerhetsrisker som kan uppstå vid människa-robot samarbete. Dessa standarder bör kombineras för att skapa en säker arbetsplats. En annan viktig faktor som diskuteras berör mänskliga aspekter. Genom att skapa ett arbetssätt där robotens avsikter och arbetsprocesser är tydliga och förutsägbara kan prestationen från medarbetaren öka. Trygghet vid människa- robot samarbete är en förutsättning för skapa effektiva och säkra arbetsplatser. (Michalos, et al., 2015)

Potential advantages using large anthropomorphic robots in human-robot collaborative, hand guided assembly (Grahn, et al., 2016)

Grahn et al. (2016) skriver att implementation av kollaborativa arbetsområden där människa och robotar samverkar är kostnadseffektivt. Detta genom att skapa arbetsytor där människa-robot samarbete utförs kan arbetsyta sparas, vilket innebär att reducerad arbetsyta är lika med reducerade kostnader. Kollaborativa robotar kan även agera som lyftverktyg för att underlätta arbetet för medarbetaren, vilket även kan innebära att lyftverktyg kan elimineras.

För att kunna utvärdera om en kollaborativ process är mer effektiv än en manuell bör dessa utvärderas gentemot varandra. En förutsättning enligt Grahn et al. (2016) för att kunna få ut ett rättvisande resultat av utvärdering är att både processerna måste vara optimerade.

Design of a Virtual Reality Training System for Human-Robot Collaboration in Manufacturing Tasks (Matsas & Vosniakos, 2017)

Matsas och Vosniakos (2017) skriver att Virtual Reality (VR) kan tillämpas som ett verktyg för att simulera en virtuell arbetsplats. Den virtuella arbetsplatsen tillåter användaren att öva på människa-robot samarbete. Genom att tillämpa simulerings miljöer tillsammans med VR kan säkerhetsbrister upptäckas och utvärderas. Detta innebär även att simulerings miljöer kan användas för att verifiera att moment kan utföras tillsammans men en kollaborativ robot på ett säkert sätt.

En fördel som de nämner är att anläggningen eller stationen inte fysiskt behöver existera. Medarbetarna kan öva och förbereda sig på nya processer tillsammans med exempelvis en kollaborativ robot. Medarbetarna kan på så vis skapa sig en uppfattning om hur arbetsprocessen skall fungera. Detta för att minska fördomar gentemot att arbeta tillsammans med en kollaborativ robot.

5.3 Analys av litteraturstudie

Viktiga aspekter som framkommit under litteraturstudien och som sedan kommer att ligga till grund för arbetets genomförande och resultat berör ett bredare perspektiv vid omfördelning av moment, riskanalysens grundförutsättningar samt fördelar med virtuell simulering. Ett bredare perspektiv gentemot omfördelning samt linjebalansering av stationer skapar en medvetenhet att fler aspekter än att endast fokusera på att reducera exempelvis aktuella cykeltider är viktigt. Att tydliggöra målsättningen med utförandet kan bidra till att skapa en bredare medvetenhet gällande samverkan mellan viktiga aspekter. Detta innebär att om fokus enbart ligger på att reducera ergonomiskt belastande moment kan andra aspekter så som cykeltider bli påverkade negativt. För att kunna utföra en rättvisande riskanalys ligger stor vikt vid att ha en layout och en arbetssekvens färdigt. Genom att kunna utvärdera robotens och människans moment både separat och tillsammans skapas en mer övergripande förståelse för de säkerhetsrisker som kan uppstå under sekvensen. En robotdemonstratorn bör utformas för att utvärdera effektiviteten i en process och för att undvika onödiga ombyggnationer. Robotdemonstratorn kan både vara skapad fysiskt eller virtuellt. En kombination av dessa är att föredra då den fysiska kan utvärdera momentens genomförbarhet och tidsuppskattning och den virtuella en layout där säkerheten och förberedelser inför implementering kan utföras. En fördel som belyses handlar om operatörsträning vilket kan förbereda och träna operatören inför den nya sekvensen.

6 Genomförande

Detta avsnitt redogör för de tillvägagångssätt som tillämpats samt de resultat som ligger till grund för slutresultatet, implementeringsförslaget och den framtagna metoden.

6.1 Datainsamling

Insamling av data har skett i samråd med Volvo GTO över det standardiserade arbetssätt som i nuläget tillämpas. Den insamlade data berör fyra olika produktvarianter. Arbetsinstruktioner samt elementbeskrivningar över de stationer som examensarbetet är avgränsat till har tillhandahållits. Arbetssättet på dessa stationers arbetssekvenser har tillgodosetts både genom tillhandahållna filmer från Volvo GTO samt egna observationer. Befintlig data över relevanta cykeltider från AviX programvara har samlats in.

Data relaterad med den kollaborativa roboten och dess kringutrustning har samlats in.

6.1.1 Delresultat av datainsamling

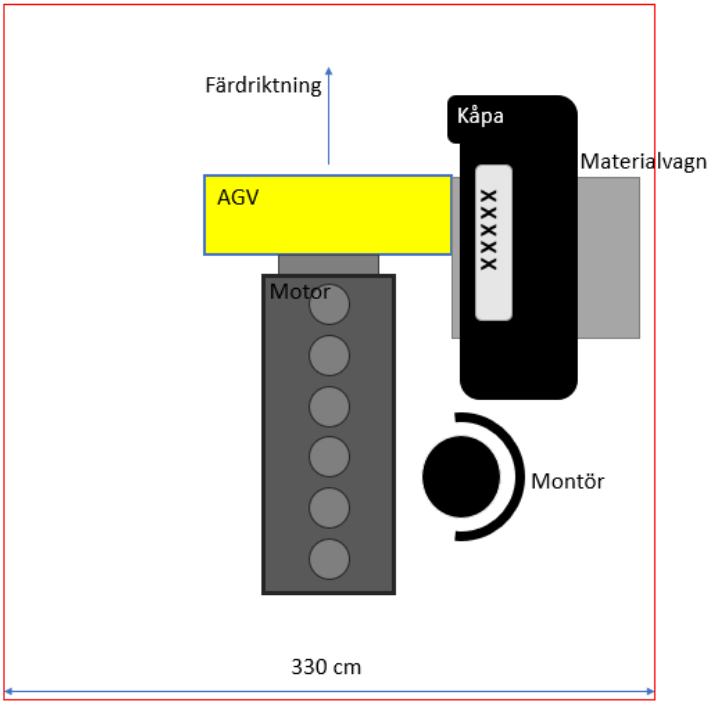
Vid de besök som utförts på Volvo GTO har ett beslut gällande prioritering av stationsval kunnat genomföras. Stationerna i berörd produktionslinje benämns här från station 1 till station 5. Stationsvalet är satt till att enbart fokusera på station 4. Anledning till detta val handlar om att denna station erhåller de moment som kan utföras av en kollaborativ robot. På grund av detta ligger fokus på station 4. De andra stationerna erhåller moment som kräver noggrann åtkomst och är därför uteslutna för en implementering av en kollaborativ robot vid detta examensarbete.

6.2 Nulägesanalys

Nulägesanalysen baseras på insamlad och analyserad data. De analyser som utförts har baserats på stationslayout, sekvens samt elementbeskrivningar och uppmätta tider tillhandahållna från AviX. En prioritetsgraf över vald station har genererats genom att undersöka kopplingar mellan de olika element som utförs på stationen. Placering av de olika element som utförs på motorn är lokaliserade från de erhållna elementbeskrivningarna. Observationer samt erhållna mått ligger till grund för en stationslayout.

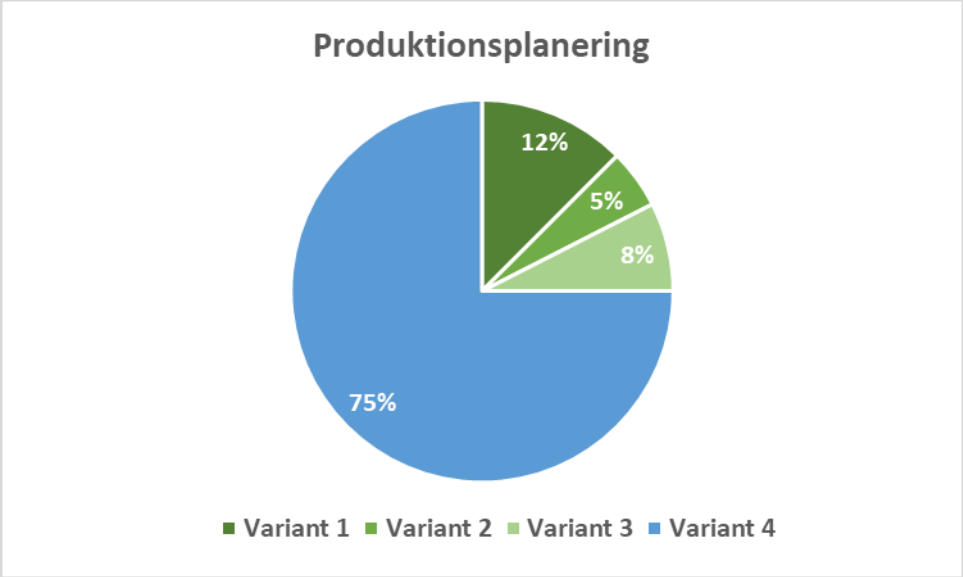
6.2.1 Delresultat av nulägesanalys

En layout över station 4 är genererad för att skapa en visualisering över stationen dock är kringutrustning exkluderad, se Figur 8. Figuren är inte skalenlig utan är endast tänkt att skapa en visualisering över stationen. Stationen består av en *Automated Guided Vehicle* (AGV) som transporterar motorn till och från stationen. Den är höj- och sänkbar i z-led samt roterbar kring färdriktningen. En tillhörande materialvagn är påkopplad och samma materialvagn tillhör de fem stationerna som examensarbetet är avgränsat till.



Figur 8: Layout över nuvarande station 4

Station 4 har i dagsläget en prioriteringsordning för moment som utförs på stationen, en för variant 1, 2 och 3 och en för variant 4. Fördelningen över de olika producerade varianterna har en ungefärlig prognos, se Figur 9.



Figur 9: Produktionsplanering i procent över de olika varianterna

Tider för de aktuella arbetssekvenserna hämtade från Avix samt ordningsföljden enligt erhållna arbetsbeskrivningar presenteras i Tabell 1 och Tabell 2.

Tabell 1: Arbetssekvensen variant 1, 2 och 3

Nuläge över arbetssekvens för variant 1, 2 och 3

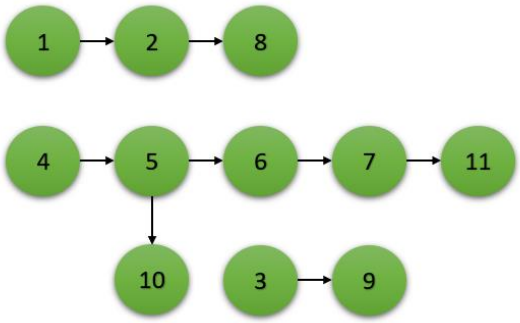
Moment nummer	Beskrivning	Tid (%)	Föregångare
1	Givare insug äntra	3%	
2	Kontakt givare anslut + grantoppar	5%	1
3	Stoppknapp montera	-	
4	Inj-kontakter ILI	5%	
5	Ventilkåpa montera	25%	4
6	Edgeclips kåpa montera	5%	5
7	Buntband montera	9%	6
8	Givare insug fixera	6%	2
9	Stoppknapp fixera	-	3
10	Ventilkåpa fixera	34%	5
11	Buntband klipp	6%	7
12	OperatörsID scanna	3%	11
Totalt utan S-knapp:		100%	

Tabell 2: Arbetssekvensen variant 4

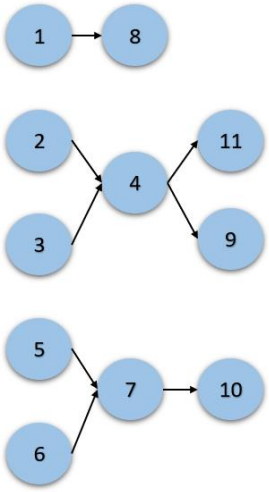
Nuläge över arbetssekvens för variant 4

Moment nummer	Beskrivning	Tid (%)	Föregångare
1	Givare insug äntra + kontakt fixera	8%	
2	Kontakter nedreventilkåpa fixera	8%	
3	Stoppknapp montera	-	
4	Buntband montera	12%	2 + 3
5	Inj-kontakter ILI	11%	
6	Ventilkåpa verifiera	1%	
7	Ventilkåpa montera	12%	5 + 6
8	Givare insug fixera	6%	1
9	Stoppknapp fixera	-	4
10	Ventilkåpa fixera	35%	7
11	Buntband klipp	6%	4
12	OperatörsID scanna	3%	
Totalt utan S-knapp:		100%	

Genom att analysera den insamlade datan, både erhållna filmer samt arbetsbeskrivningar har två prioritetsgrafer kunnat skapas, se Figur 10 och Figur 11. Graferna beskriver i vilken ordning de olika momenten på station 4 måste utföras i. Några av varianternas moment skiljer sig åt i utförandet och numreringen.

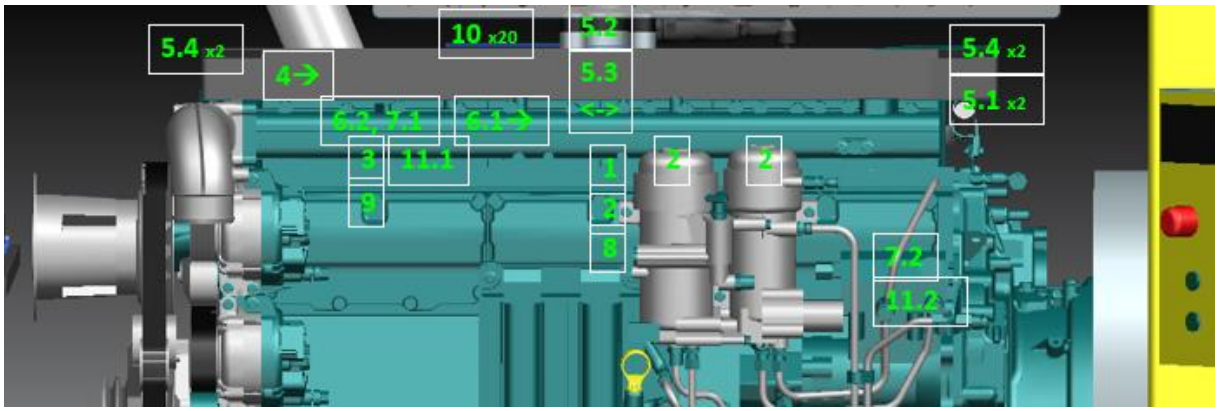


Figur 10: Prioriteringsordning på stationens arbetsmoment för variant 1, 2 och 3

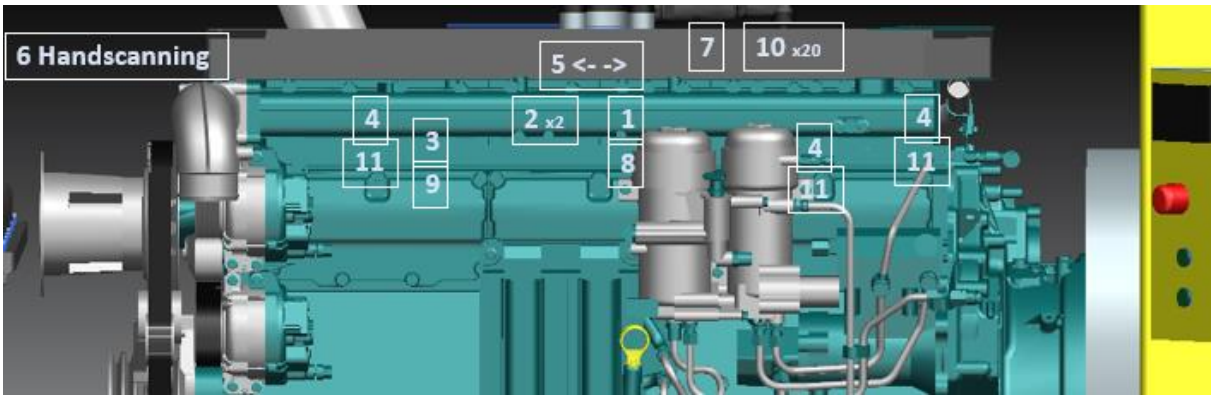


Figur 11:Prioriteringsordning på stationens arbetsmoment för variant 4

För att kunna skapa en nulägesbild över station 4 och dess arbetsgång har en bild genererats för både variant 1, 2 och 3 samt 4 som visualiserar var momenten utförs på motorn, se Figur 12 och Figur 13. Bilderna visualiserar var operatören kommer att arbeta på motorn och i vilken ordningsföljd momenten utförs i. Detta för att underlätta vid momentanpassning samt att inte öka de rörelser operatören utför i dagsläget.



Figur 12: Positionering av moment på motorn för variant 1, 2 och 3



Figur 13: Positionering av moment på motorn för variant 4

6.3 Momentanpassning

Genom att undersöka de områden som UR10e är tillämpad för har passande moment kunnat genereras. Detta genom att undersöka de moment som i dagsläget utförs på vald station och jämför de mot de tillämpningsområden som den kollaborativa roboten är utvecklad för att hantera. Ergonomiaspekter samt kvalitetssäkring har även legat i fokus under identifieringen av dessa moment. De nivåer av samarbete som identifieras baseras på nödvändig precision samt komplexiteten gällande säkerhetsaspekter. För att säkerställa att de identifierade momenten kan utföras enligt föreslagen arbetssekvens och layout har en robotdemonstrator utformats. Arbetssekvensen för den kollaborativa roboten har testats med online-programmering.

6.3.1 Delresultat av momentanpassning

Momenten som är lämpliga för roboten att utföra är moment som operatören utför i dagsläget. Ett moment handlar om en egenkontroll som skall automatiseras med den kollaborativa roboten för att undvika kvalitetsavvikelser och är benämnt som moment A. Moment B handlar om att utföra ett ergonomiskt belastande lyft vilket skall utföras av den kollaborativa roboten utan operatörens inblandning. Det efterkommande momentet är benämnt moment C och skall utföras tillsammans med operatören för att positionera den lyfta kåpan på plats. Det nästkommande momentet som den kollaborativa roboten skall utföra är uppdelat i två sekvenser, D1 och D2. Momentet går ut på att utföra skruvdragning på 20 olika positioner. Genom att automatisera de identifierade momenten kommer tid för operatören frigöras vilket kan nyttjas bland annat vid en framtida linjebalansering.

I dagsläget står alla identifierade moment för cirka 48 procent av cykeltiden för station 4, variant 4. Moment B och C utgör cirka 12 procent och moment D1 och D2 utgör cirka 36 procent av cykeltiden för variant 4, se Tabell 3.

Tabell 3: Cykeltid för de identifierade momenten av variant 4 i procent

Nuvarande tidsåtgång för momenten		
Index	**Moment**	**Cykeltid (%)**
B	Lyft av kåpa	12
C	Handguiding av kåpa	
D1	Skruvdragning (1–14)	36
D2	Skruvdragning (15–20)	

Baserat på de identifierade momenten har nödvändig kringutrustning för den kollaborativa roboten identifierats, se Figur 14. En kamera samt ett vacuumverktyg har monterats på roboten. Kameran används för att identifiera kännetecken för positionering, teknisk specifikation för kameran finns tillgänglig i Bilaga B. Vacuumverktyget används för att lyfta kåpan på motorn, teknisk specifikation för vacuumverktyget finns tillgänglig i Bilaga C samt Bilaga D. För att kunna utvärdera skruvdragningsmomentets tidsåtgång och precision har en exakt punkt på vacuumverktyget bestämts för att representera skruvdragaren.

Figur 14: Kameran är positionerad ovanför vacuumverktyget

6.3.1.1 Moment A: kvalitetskontroll

Moment A består av en kvalitetskontroll vilket innebär att sekvensen inte kan fortskrida innan den är godkänd. Momentet går till på sådant vis att en kamera monterad på den kollaborativa roboten skall fotografera två applicerade limsträngar för att utvärdera om de applicerats på ett korrekt vis. Limsträngarna appliceras manuellt av operatören. Därefter skall operatören genom eventuellt en knapptryckning starta robotens arbetssekvens där fotografering och utvärdering av limsträngarna skall äga rum på två olika positioner. Genom att automatisera egenkontrollen kan kvalitetsavvikelser undvikas.

Ett annat relaterande examensarbete som fokuserar på automatiseringen av utvärderingen av momentet arbetar med att utveckla mjukvaran gällande kvalitetskontrollen. (Leidenkrantz & Westbrandt, 2019)

Motivering

Genom att automatisera en manuell kvalitetskontroll kan onödiga kvalitetsavvikelser undvikas. Utförandet av momentet ger endast ett litet fönster för att kvalitetsavvikelsen kan upptäckas, vilket innebär att momentet inte längre är synligt efter att moment C är utfört. Detta moment kommer att stoppa processen innan en godkänd limsträng är applicerad.

6.3.1.2 Moment B: belastande lyft

Moment B består av ett lyft av en större komponent, en kåpa. Den kollaborativa roboten kommer i detta moment att nyttja både kameran och vacuumverktyget för att lokalisera och lyfta kåpan. Momentet verifieras genom att roboten förflyttas till en förutbestämd position för att sedan ta ett fotografi. Detta utförs för att lokalisera de kännetecken som är programmerat att identifiera. När den kollaborativa roboten har lokaliserat kännetecknet påbörjas positionering för att lyfta kåpan. Vakuumet aktiveras när verktyget känner ett specifikt tryck, vilket uppfylls när verktyget är på plats. Kåpan kommer sedan att förflyttas till en förutbestämd position över motorn. Momenten har programmerats för att undvika att kåpan beträder människan arbetsområde vid lyftet. Detta innebär att riskerna för skador på människa kan undvikas om vacuumverktyget skulle förlora tryck. Slutpositionen för momentet ligger ovanför motorn där den senare skall positioneras dock en aning närmare roboten än människans arbetsområde. Anledningen är att säkerställa ett extra avstånd från människans arbetsområde. Momentet kommer att ske utan operatörens inblandning. Genom att automatisera momentet kan icke ergonomiska rörelser undvikas.

Motivering

Operatörerna utför i dagsläget lyftet manuellt. Antalet varierar från 50 till 150 lyft per operatör och skift. Genom att automatisera momentet kommer ett belastande ergonomiskt lyft att utföras av en kollaborativ robot. Detta innebär att operatörerna som arbetar på stationen inte längre kommer att utföra lyftet manuellt vilket minskar risker för framtida arbetsskador relaterade till belastande ergonomi samt utmattning under arbetssekvensen. Det manuella lyftet har tidigare bidragit till en dold kvalitetsavvikelse vilket genom automatisering kan undvikas.

6.3.1.3 Moment C: handguiding

Moment C består av positionering av den lyfta kåpan och skall utföras tillsammans med operatören, så kallad *handguiding*. Momentet skall aktiveras när moment B är utfört. Operatören skall positionera kåpan på motorn för att sedan avsluta *handguiding* med eventuellt ett knapptryck.

Motivering

Genom att tillämpa *handguiding* kan operatörerna positionera kåpan på plats utan någon större fysisk ansträngning. Anledningen till att *handguiding* bör tillämpas handlar om att positionen för motorn inte är exakt, utan varierar då AGV:n inte stannar på samma position varje gång. Motorn kan även variera i höjdled vilket innebär att positionen för motorn kan variera i två riktningar.

6.3.1.4 Moment D: skruvdragning

Momentet är uppdelat i två olika moment, D1 och D2. De två momenten består tillsammans av 20 skruvdragningar på olika positioner med en förutbestämd ordning. Motorn skall vinklas 30 grader mot roboten innan momentet kan påbörjas. Skruvdragning 1–14 är benämnt D1 och 15–20 för D2. Roboten skall vara utrustad med en mutterdragare för att utföra skruvdragningen. Momentet har kontrollerats genom att tillämpa en av vacuumverktyget sugkoppar för att visualisera positioneringen av en skruvdragare, se Figur 15. Roboten kommer att nyttja kameran i detta moment för att

lokalisera samma kännetecken som för moment B. Kännetecknet kommer att utnyttjas för att finna de 20 olika positionerna.

Figur 15: Positionering av sugkopp

Motivering

Genom att automatisera skruvdragningen i sin helhet eller delar av den kan icke ergonomiska rörelser undvikas. Då det manuella momentet är tidskrävande samt att positioneringen delvis är besvärlig då momentet kräver att arbete utförs över motorn.

6.3.1.5 Produktvarianter

Moment A utförs endast på 3 av 4 olika produktvarianter. Resterande moment utförs på samtliga produktvarianter med vissa skillnader i positioner samt vikt för kåpan, se Tabell 4.

Tabell 4: Moment tilldelad roboten som utförs på de olika produktvarianterna

Variant	Moment A	Moment B	Moment C	Moment D1	Moment D2
1	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X
4		X	X	X	X

6.3.2 Utvärdering av moment vid robotdemonstratorn

Den utformade robotdemonstratorn har använts för att testa samt verifiera delar av de moment som ligger till grund för implementeringsförslaget. Robotdemonstratorn består av en UR10e med ett vacuumverktyg samt en kamera monterad längst ut på robotarmen. Robotdemonstratorn består av en portabel UR10e robot samt diverse kringutrustning utplacerade för att efterlikna implementeringsförslaget, se Figur 16.

Figur 16: Utformad robotdemonstrator

6.3.2.1 Moment A

Moment A är i detta examensarbete utvärderat genom att undersöka robotens möjlighet till att få tillräckligt bra skärpa för ett fotografi med kameran. Vidare utvärdering av detta moment rekommenderas att utföras vid en implementering av den kollaborativa roboten för att erhålla ett rättvisande resultat. För ytterligare fördjupning av detta moment hänvisas examensarbetet, *Implementation of a machine vision on a collaborative robot* (Leidenkrantz & Westbrandt, 2019).

6.3.2.2 Moment B

Vid utförandet av moment B vid robotdemonstratorn har 10 antal repetitioner utförts med goda resultat. Vid identifiering av kännetecknet från den förutbestämda positionen har roboten utfört hela momentet i 10 av 10 fall. För att ha möjlighet att hitta kåpans position i höjdled används en funktion kallad *force* som letar efter ett visst motstånd. Vid tillämpning av denna funktion har det vid ett flertal tillfällen i hög hastighet reducerat tidsåtgången gällande dockningen av kåpan. Vikten av kåpan varierar från de olika modellerna vilket behöver utvärderas ytterligare för att verifiera att lyft av den tyngre varianten är genomförbart.

6.3.2.3 Moment C

Vid utvärderingen av *handguiding*-momentet, som har simulerats genom att aktivera robotens friläge för att förflytta kåpan manuellt, har två aspekter tagits i beaktande. Dessa är vikt av kåpan samt dess tyngdpunkt. Genom att ställa in den aktuella nyttolasten samt tyngdpunkten för kåpan behåller roboten samma position innan *handguiding*-momentet aktiverats. Friläget resulterar i samma funktionalitet som *handguiding*. Förflyttning av kåpan kan då ske genom manuell manövrering där människa och robot samarbetar. Vid manövreringen krävs inte mycket kraft vid

utförandet av momentet men för att underlätta positioneringen av kåpan rekommenderas ett tvåhandsgrepp.

En förutsättning för att få ett mer rättvisande resultat vid en utvärdering av moment C är att utveckla robotdemonstratorn med tillhörande utrustning. Utrustningen består av extra komponenter så som kåpans ram samt kompletterande utrustning till roboten för att kunna utföra *handguiding*-momentet i en och samma sekvens.

6.3.2.4 Moment D

Moment D är utvärderat i så hög grad som förutsättningarna ger. Genom att nyttja vacuumverktyget kan precisionen utifrån kännetecknet utvärderas. Utifrån kännetecknet uppfylls en bra positionering av verktygets sugkopp. Vidare utvärdering är av relevans för att verifiera att momentet är genomförbart med en verklig skruvdragare. Detta både gällande precision samt robotens kapacitet gällande nyttolast.

6.4 Implementeringsförslag

En layout över berörd station genereras från inhämtad data. Detta bidrar med en mer måttanpassad layout för den kollaborativa robotens position vid stationen med hänsyn till robotens räckvidd samt utförandet av tilltänkta moment. Genom att identifiera den prioriteringsordning som i dagsläget nyttjas på berörd station tillsammans med arbetsbeskrivningar har en ny arbetssekvens utformats. Vid testning av den nya arbetssekvensen ligger fokus på den kollaborativa robotens arbetsmoment samt operatörens positionering vid utförandet.

6.5 Verifiering

Genom att kontrollera robotens förmåga att utföra de tilltänkta momenten både vid robotdemonstratorn samt genom virtuell simulering kommer robotens sekvens att testas. Detta innebär att momenten kommer att utvärderas gällande aspekter så som ergonomi, säkerhet samt repeterbarhet. Genom att analyserar det tillvägagångsätt som tillämpats under examensarbetet kommer en strukturerad metod att genereras.

7 Resultat

Detta avsnitt presenterar implementeringsförslaget samt en generell utvärdering av förslagets ergonomi- och säkerhetsaspekter. Den utvecklade metoden presenteras i slutet av kapitlet.

7.1 Implementeringsförslag

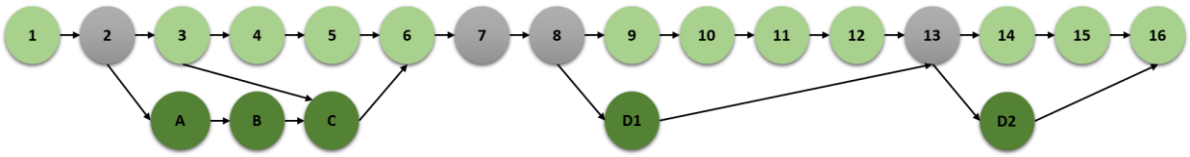
Implementeringsförslaget består av en arbetssekvens som beskriver arbetsordningen på station 4. Arbetssekvensen är även kompletterad med en visualisering av momentens placering för den nya momentordningen. Två möjliga layoutförslag över station 4 är framtagna. Implementering av föreslagna arbetssekvenser ställer krav på ändringar av den befintliga externa materialtillförseln.

7.1.1 Arbetssekvenser

De föreslagna arbetssekvenserna reducerar generellt människans arbetsbelastning avsevärt jämfört med de befintliga. De nya arbetssekvenserna innehåller nya arbetsmoment i form av knapptryckningar för att initiera och godkänna robotens sekvenser. Momenten i de nya arbetssekvenserna är omfördelade samt delvis uppdelade på elementnivå för att ett människa-robot samarbete skall kunna tillämpas, se Tabell 5 och Tabell 6. Utnyttjandegraden baseras på den procentuella andelen för cykeltiden på den aktuella varianten. Den totala procentuella andelen innefattar både robotens och människans arbetssekvens, enskilt och parallellt arbete. Andelen överskrider den nuvarande cykeltiden men inte den aktuella TAKT-tiden. För en tydligare ordningsföljd för momenten och dess föregångare se Figur 17 och Figur 18.

Tabell 5: Ny arbetssekvens med nya momentnummer på station 4 för variant 1, 2 och 3

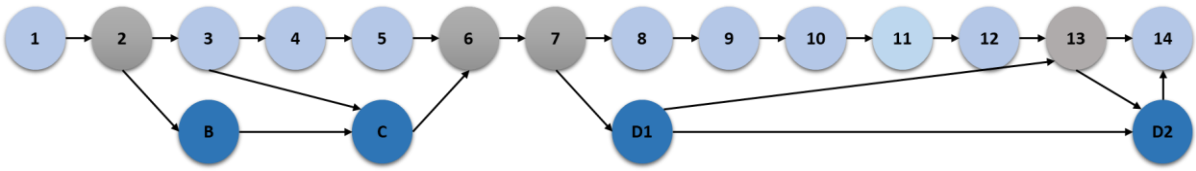
Tidigare moment Nr	Nytt moment Nr	Beskrivning	Tid människa	Tid robot	Föregångare	Utförare	Tid Totalt
5.1	1	Applicera limsträng	6,8%			M	
	2	Kvittering/aktivera robot	0,6%		1	M	7,4%
5.1	**A**	Kontroll av limsträng		6,2%	2	R	
4	3	Manuell kontroll under kåpa	5,4%			M	
3	4	Äntra S-knapp				M	
1	5	Äntra insug	3,3%			M	
5.2	**B**	Hämta kåpa		15,2%	A	R	15,2%
5.2	**C**	Handguiding		2,8%	B + 3	M + R	2,8%
5.4	6	Kontroll av skruv/äntra 2x2 skruv	6,8%		C	M	
	7	Motorn skall vinklas 30 grader mot roboten	1,1%		6	M	
	8	Aktivera robot	0,6%		7	M	7,3%
10	**D1**	Skruv 1-14		47,4%	8	R	47,4%
2	9	Grantoppar	5,0%		1	M	
8	10	Fixera insug	5,7%		5	M	
6	11	Edge clip montera	5,0%		Skruv 1-6	M	
7	12	Buntband	8,6%		9	M	
	13	Aktivera robot	0,6%		13	M	0,6%
10	**D2**	Skruv 15-20		20,3%	11	R	20,3%
9	14	S-knapp fixera			4	M	
11	15	Buntband klipp	5,7%		12	M	
12	16	OperatörsID scanna	2,5%		15	M	2,5%
Utnyttjande-grad			57,6%	91,9%			103,5%



Figur 17: Ordningsföljd för implementeringsförslaget variant 1, 2 och 3

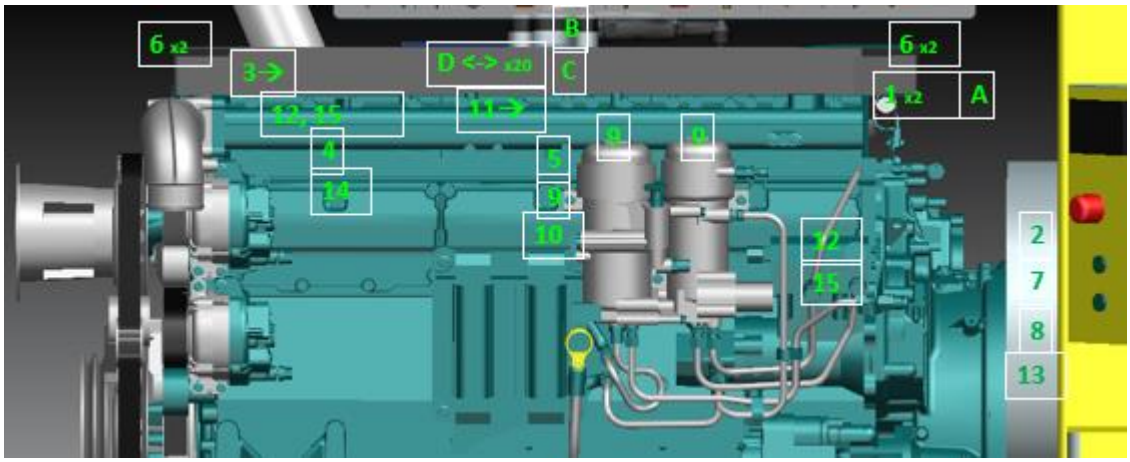
Tabell 6: Ny arbetssekvens med nya momentnummer på station 4 för variant 4

Tidigare moment Nr	Nytt moment Nr	Beskrivning	Tid (%) människa	Tid (%) robot	Föregångare	Utförare	Tid Totalt
6	1	Handscanna kåpa	1,1%			M	
	2	Aktivera robot	0,6%			M	1,6%
7	**B**	Hämta kåpa		15,3%	2	R	
5	3	Manuell kontroll under kåpa	10,8%		2	M	
1	4	Äntra insug	7,9%			M	
2	5	Kontakter kåpa fixera	7,6%			M	26,3%
	C	Handguiding		2,8%	B + 3	M + R	2,8%
	6	Motorn skall vinklas 30 grader mot roboten	1,1%		C	M	1,1%
	7	Aktivera robot	0,6%		6	M	0,6%
10	**D1**	Skruv 1-14		47,6%	8	R	
8	8	Fixera insug	5,7%		4	M	
3	9	Äntra S-knapp				M	
9	10	S-knapp fixera			9	M	
4	11	Buntband	11,6%		10	M	
11	12	Buntband klipp	5,9%		11	M	47,6%
	13	Aktivera robot	0,6%		D1 + 12	M	0,6%
10	**D2**	Skruv 15-20		20,4%	13	R	20,4%
12	14	OperatörsID scanna	2,5%		D2	M	2,5%
Utnyttjande-grad			**56,0%**	**86,1%**			**103,5%**

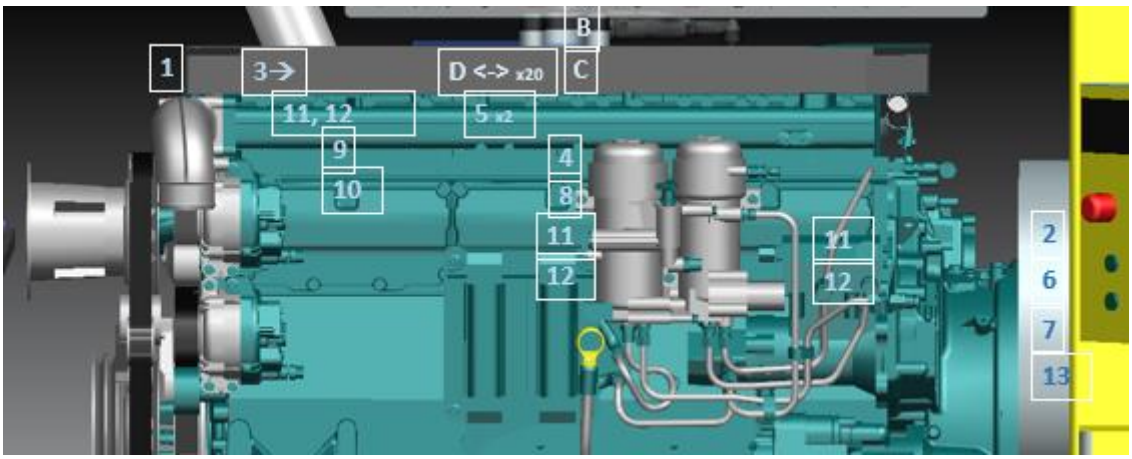


Figur 18: Ordningsföljd för implementeringsförslaget variant 4

Positioneringarna av momenten är visualiserade med de nya momentnumren, se Figur 19 och Figur 20.



Figur 19: Positionering av moment för människa-robot samarbete för variant 1, 2 och 3



Figur 20: Positionering av moment för människa-robot samarbete för variant 4

7.1.2 Layoutförslag

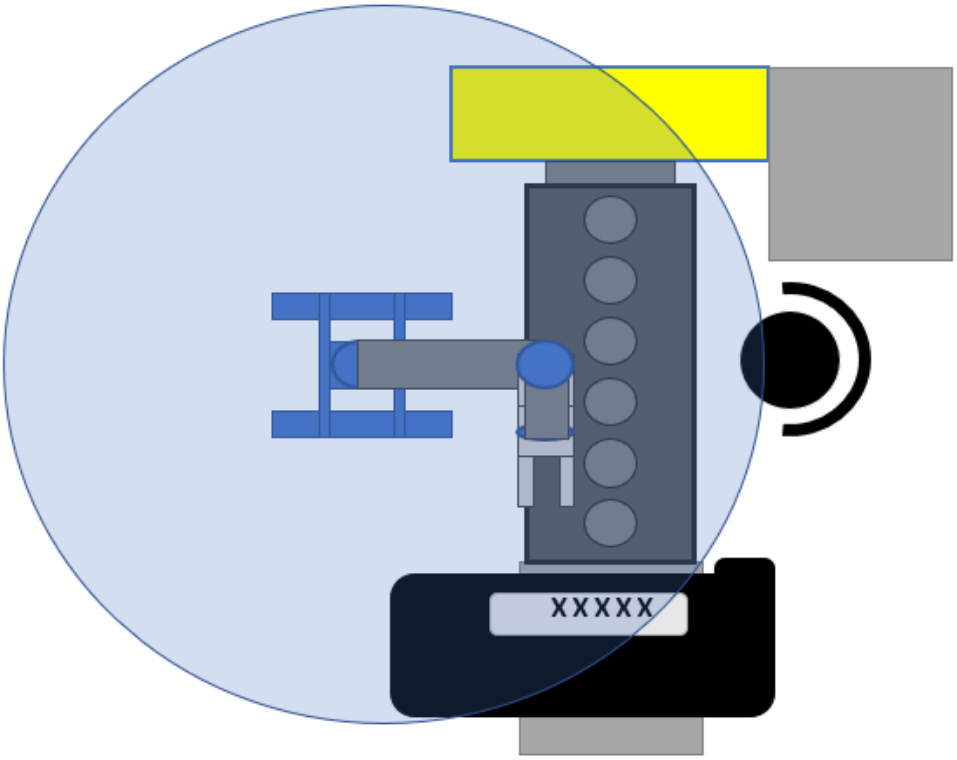
Två layoutförslag är framtagna där skillnaden mellan de olika förslagen berör kåpans placering, se Figur 21 och Figur 22. Den kollaborativa roboten är placerad på motsatt sida till operatören.

Anledningen till att kåpans placering har förändrats från den ursprungliga placeringen beror på två aspekter. Den första aspekten berör robotens räckvidd vilket är begränsat till 130 cm. Räckvidden begränsar robotens förmåga att utföra de framtagna momenten då en annan placering kan kräva att en omstrukturering av stationen utförs. Detta innebär att den föreslagna placeringen till roboten kräver att kåpan förflyttas från sin ursprungliga placering. Den andra aspekten berör säkerheten gentemot både operatören samt materialet. Placeringen av kåpan i implementeringsförslagen ger möjlighet till att undvika onödig kontakt med människan samt materialet vid utförandet av moment B och C. Onödig kontakt i det specifika fallet handlar om att rörelsen kan utföras utan risk för kollision med människan. Det ger även möjlighet att begränsa att kåpan förflyttas över motorn i hög utsträckning.

7.1.2.1 Layoutförslag: Medföljande materialvagn

Förslaget har en materialvagn påkopplad på AGV:n där kåpan är placerad, se Figur 21. Kåpan kan antingen vara placerad på en ny eller en befintlig materialvagn. Förslagsvis så kan en ny materialvagn tillämpas och enbart transportera kåpan. Detta ger möjlighet till att materialvagnen kan skräddarsys utefter behov. Påkoppling av vagnen bör då ske innan station 4. Ett ytterligare förslag är att nyttja en befintlig materialvagn. I åtanke är då den vagn som kopplas på station 6 vilket är två stationer senare. Genom att nyttja en befintlig materialvagn kan ny materialhantering undvikas. Detta innebär att materialvagnen behöver anslutas två eller fler stationer tidigare än i dagsläget samt att kåpan behöver omplaceras från en befintlig vagn till en annan. Detta layoutförslag innebär att anslutningen av materialvagnarna kommer att ske från samma sida av stationen som tidigare, vilket inte kräver någon betydande förändring av varken materialhantering eller transportsträcka.

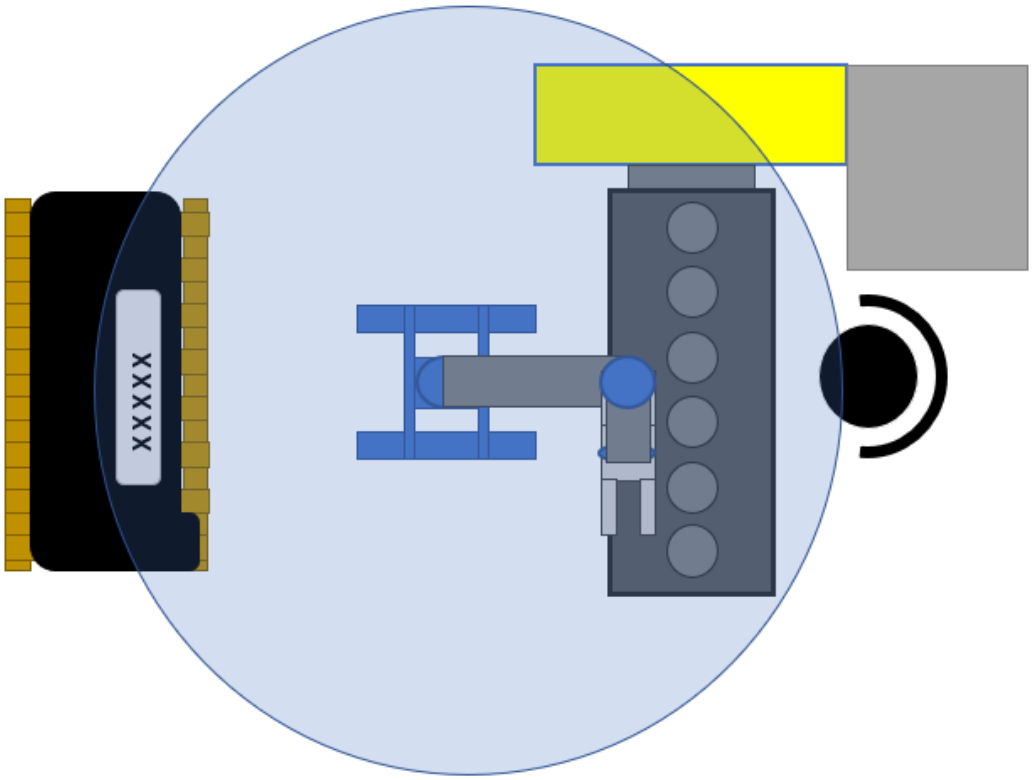
En virtuell simuleringsmiljö har implementerats utefter detta layoutförslag av Martinsson & Svensson (2019), se Bilaga E.



Figur 21: Layout av förslaget med medföljande materialvagn

7.1.2.2 Layoutförslag: Fast materialplacering

Förslaget har en fast materialplacering för kåpan, se Figur 22. Layoutförslaget kommer inte att påverka de före- eller efterliggande stationers materialhantering negativt. Stationerna kommer inte att påverkas då den fasta materialplaceringen inte för detta förslag behöver en egen materialvagn utan enbart en utplacerad fast position. Materialplaceringens position kan innebära en mindre förändring i montörens nuvarande arbete och kan minska risker för förvirring. Förslaget innebär även att kittningspersonalens arbetsutrymme kan bli större då kåpan inte ligger på en materialvagn vilket medför att förkittningen kan ske på annan plats. Då en truckgång finns på den fasta materialplaceringens sida kan materialhantering ske exempelvis via truck eller AVG från samma sida.



Figur 22: Layout av förslaget med fast materialplacering

7.2 Utvärdering av Arbetssekvens

Genom att utvärdera både befintliga ergonomiaspekter samt säkerhetsaspekter som skall tas i beaktande vid implementering av en kollaborativ robot kan arbetssekvensen utvärderas. Utvärderingen ligger på en generell nivå och belyser fördelar gällande ergonomi samt grundläggande säkerhetsaspekter för implementeringsförslagen.

7.2.1 Ergonomiaspekter

Befintliga ergonomiskt belastande moment som utförs på station 4:

- Tungt lyft (6-8kg)
    - Över axelhöjd
    - Cirka 50 – 150 lyft per skift per person (varierar beroende på bemanning)
- Skruvdragning 20 stycken per cykel
    - Monotont
    - Över axelhöjd
    - Cirka 1000 – 3000 stycken skruvdragningar per skift per person

De befintliga ergonomiskt belastande moment på station 4 har med hjälp av den nya arbetssekvensen i implementeringsförslagen kunnat tilldelats den kollaborativa roboten.

7.2.2 Säkerhetsaspekter

Säkerhetsaspekterna gäller implementeringsförslagen på station 4.

Arbetssekvensen är utformad så att människa och robot inte arbetar inom samma område såvida inte:

- Människan gett klartecken att roboten får utföra nästkommande moment
- Människan har *handguiding*-kontroll

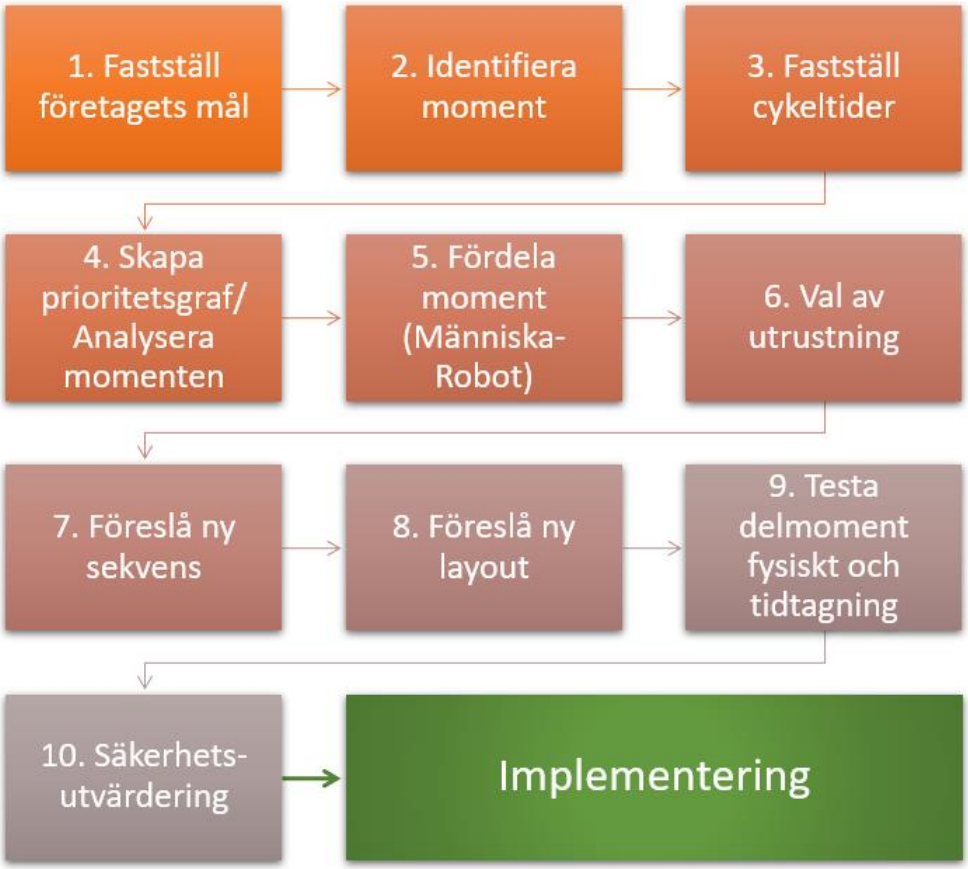
Ytterligare säkerhetsfunktioner som skall tillämpas:

- Robotens arbetsområde begränsas i styrsystemen, *Safety-rated monitored stop*
- Ytterligare nödstopp
- Robotens inbyggda *Power and force limiting*
- Ljussensorer kring robotens arbetsområde

För att kunna utvärdera säkerheten på den nivån som krävs för att få den kollaborativa roboten närmare en verklig produktion finns vissa krav och rekommendationer beskrivet i internationella standarder. Dessa krav och rekommendationer kan endast uppfyllas då implementeringsförslagen fastställts. Efter att föreslagna förbättringsförslag har implementerats i exempelvis en virtuell simuleringsmiljö kan en riskanalys genomföras.

7.3 Framtagen metod

Under genomförandet av examensarbetet har ett förslag på en metod gällande framtagning av en specifikation för en HRC-station tagits fram. Metoden är tänkt att genomföras uppifrån och ner men återkoppling till tidigare steg kan vara nödvändigt, se Figur 23.



Figur 23: Framtagen metod för att skapa en specifikation för en implementering av en HRC-station

Metoden är framtagen utifrån examensarbetets resultat. Metoden är tänkt att underlätta och ge vägledning vid genomförande av liknande projekt där slutmålet är att implementera en kollaborativ robot i produktion med hjälp av en virtuell simuleringsmiljö.

De identifierade förutsättningar som bör finnas för att genomföra ett liknande projekt är främst ett tillämpat standardiserat arbetssätt samt standardtider. Dessa förutsättningar är en grund för att kunna identifiera lämpliga moment för den kollaborativa roboten, omfördela moment samt linjebalansera där en befintlig produktion är etablerad. Anledningarna berör främst ergonomi- och säkerhetsaspekter för upprätthållning av ett stabilt produktionsflöde vid implementering av en kollaborativ robot.

Sekvensen börjar med att fastställa företagets mål med implementationen av en kollaborativ robot. När företagets mål och behov är fastställda skall moment som är passande att automatisera med en kollaborativ robot både gällande behov samt funktioner identifieras. När omfattningen av berörda stationer är fastställd skall aktuella TAKT-tider samt tider för moment för alla berörda stationer samlas in. När de tidigare stegen är utförda skall momenten analyseras och en prioritetsgraf för varje station genereras. För att fastställa en prioritetsgraf rekommenderas det att utföra observationer samt analysera arbetsbeskrivningar. När momenten är analyserade kan en omfördelning av momenten ske mellan människa och robot. Här bör ställning tas om en linjebalansering eller en

momentanpassning är mest lämpad att tillämpa. I denna fas är det även lämpligt att kontrollera samarbetsnivå mellan människa och robot. Vid val av utrustning ingår val av robot och dess tillhörande verktyg. Vid valet av robot skall passande kapacitet och efterfrågade funktioner ligga till grund för beslutet. Den nya sekvensen för människa-robot samarbetet ska genereras baserat på den tidigare inhämtade informationen. Beroende på omfattning finns det många aspekter att ta hänsyn till så som momentens ordningsföljd, nödvändiga verktyg samt arbetsbelastning. Layouten baseras på den nödvändiga nivån på samarbete mellan människa och robot som skall utföras. Hänsyn bör även tas till robotens kapacitet inklusive räckvidd. För att utvärdera om ett layoutförslag är möjligt bör både en fysisk- och en simuleringsmiljö skapas. Detta för att enkelt kunna skapa en layout samt att kontrollera robotens kapacitet. Momenten som testas skall även klockas för att kontrollera att den föreslagna sekvensen håller sig under TAKT-tiden. För att utvärdera säkerheten vid implementering av den kollaborativa roboten bör en virtuell miljö av de berörda stationerna genereras före den implementeras rent fysiskt. Anledningen till att en virtuell miljö bör implementeras är till stor del för att undvika onödiga investeringar och omarbeten till följd av eventuella förändringar i specifikationen.

8 Diskussion

Under examensarbetets utförande har många förutsättningar förändrats. Den mest radikala förändringen var att gå från en vision att genomföra en linjebalansering till att endast fokusera arbetet på en och samma station. Den största anledningen till att en momentanpassning var mer lämpad att utföra var att de moment som ansågs vara enligt den kollaborativa robotens färdigheter lokaliserades på en och samma station, station 4. Detta bidrog till att en mer grundlig utvärdering av de lokaliserade momenten kunde utföras. En begränsning som uppstod var åtkomst till den verkliga monteringsstationen. Detta på grund av företagets rutiner som måste efterföljas. Åtkomsten var extremt begränsad under examensarbetet dock fanns en kontaktperson som stöttade och bidrog till att den inhämtade informationen kunde erhållas. De besök som utfördes på den aktuella monteringsstationen bestod av observationer av momentutföranden samt diskussioner med både kontaktpersonen samt monteringspersonal. Genom att delge den kollaborativa roboten moment frigörs tid för monteringspersonalen på stationen vilket ger möjlighet till att använda tiden för exempelvis andra arbetsuppgifter.

För att kunna utföra ett liknande examensarbete där samma förutsättningar ej finns ligger vikt vid att skapa dessa grundförutsättningar. Dessa förutsättningar är främst ett standardiserat arbetssätt vilket bidrog till en så pass omfattande referensram där grundförutsättningarnas benämns och belyses. Utan dessa förutsättningar kommer det vara oerhört svårt att nå upp till förväntade resultat.

Ergonomiskt belastande moment samt moment som bidrar till dolda kvalitetsbrister har under hela examensarbetet legat i fokus. För att skapa en möjlighet att både identifiera och utvärdera dessa moment har en upprätthållning av ett standardiserat arbetssätt varit extremt underlättande vid utförandet av detta examensarbete. Den viktigaste aspekten gällande det standardiserade arbetssättet är att resultatet av implementeringsförslagen skall gynna alla berörda parter.

För att kunna identifiera lämpliga moment för en kollaborativ robot bör dess tillämpningsområden samt begränsningar identifieras vilket underlättade vid identifiering av lämpliga moment. I dagsläget där en UR10e nyttjas för testning av de identifierade momenten finns en begränsning gällande nyttolast. Denna begränsar utförandet av de identifierade momenten vid en sammanhängande sekvens. Den kollaborativa roboten som funnits till förfogande har en nyttolast på 10 kilogram. Detta innebär att de verktyg som monterats på roboten inte inkluderas i nyttolasten. De monterade verktygen, kamera och vacuumverktyget väger tillsammans 1,86 kilogram. För att ha möjlighet att montera en mutterdragare på roboten som kan utföra skruvdragningen kan roboten behöva en avlastning för att inte överskrida nyttolasten vid lyft av den tunga kåpan på cirka 8 kilogram. Ytterligare utvärderingar av skruvdragningen gällande robotens precision samt vridmoment och kraft rekommenderas. Vacuumverktyget är utrustat med tillhörande sugkoppar som endast kan lyfta den lättare kåpan på en specifik position. Denna position har på den lättare kåpan en slät yta vilket gör det lätt för verktyget att få grepp. Då denna kåpa är den enda kåpa som funnits till förfogande för att testa momenten på har inte övriga kåpor kunnat utvärderas. Vid tillämpning av *force*-funktionen i roboten har det vid ett flertal tillfällen i låg hastighet uppstått problem gällande tidsåtgången för att hitta rätt tryck för att lyfta kåpan. Detta medför att roboten rör sig upp och ned i z-led för att finna det rätta trycket. Denna tidsåtgång reduceras desto högre hastighet momentet utförs i. Med tanke på att kåpans höjd kan variera vid utförandet av moment B rekommenderas det att *force*-funktionen tillämpas för att kåpans höjd inte skall påverka momentets genomförande.

Beroende på tidsåtgången kan momentet begränsas till att endast dra ett mindre antal skruvar. Begränsningen kan även nyttjas för att säkerställa att roboten inte arbetar inom människans arbetsområden, förslaget blir då att endast de skruvar som är placerade på robotens sida monteras

av roboten. Denna begränsning kan även minska tidsåtgången då en kollaborativ robot skall röra sig långsammare ju närmare en människa den arbetar.

Antaganden som har gjorts under examensarbetet berör kåpans placering, robotens position, mutterdragare, tillförlitliga data, aktuell robot och moment A:s funktionalitet. Ett antagande gällande kåpans position har tagits som berör den externa materialtillförseln. Implementeringsförslagen kräver att materialtillförseln förändras då robotens räckvidd är begränsad. En ytterligare anledning berör en taktisk avgränsning mellan människa och robot. Genom att placera den kollaborativa roboten på motsatt sida om motorn kan momenten utföras där en nära kontakt ej förekommer om inte människa har gett klartecken eller utför moment C. Den kollaborativa roboten har antagits vara portabel vilket har inneburit att den inte övervägts att vara takhängd. Ytterligare diskussioner med kontaktpersonen har ägt rum angående en takhängd robot och resulterat i avrådanden gällande en sådan placering. Detta på grund av att undvika potentiella robotrörelser i mänsklig huvudhöjd. En mutterdragare föreslås att nyttjas för att utföra moment D och har antagits att fungera tillsammans med en kollaborativ robot. Den data som har analyserats antas vara uppdaterad och tillförlitlig gällande både det standardiserade arbetssättet samt de tider som erhållits. Den kollaborativa roboten som funnits till förfogande under examensarbetet antas vara den robot som är aktuell för implementeringen dock finns det möjlighet att se över andra alternativ. Det som begränsar den nuvarande roboten är främst dess nyttolast samt räckvidd. Moment A skall utföra en kvalitetskontroll vilket detta examensarbete antar vara funktionsdugligt och kompatibelt tillsammans med den kollaborativa roboten.

Metoden är utformad för att på ett strukturerat sätt skapa förutsättningar för att implementera en HRC-station. Genom att följa de föreslagna steg som metoden föreslår kan genomförandet av ett liknande projekt underlättas. Den skapade metoden rekommenderas att ligga som grund för en virtuell miljö då detta kan underlätta vid en framtida riskanalys. Genom att skapa en simuleringsmiljö kan en riskanalys utföras utan att en fysisk miljö existerar. Detta innebär att vid eventuella förändring av specifikationen kan onödiga kostnader för ombyggnationer och utrustning undvikas. En annan viktig aspekt handlar om att skapa en möjlighet för medarbetarna att träna på att utföra den framtagna sekvensen tillsammans med roboten. Genom att skapa en virtuell miljö kan exempelvis robotens placering och räckvidd kontrolleras och optimeras i förhållande till säkerheten.

9 Slutsats

Detta avsnitt redovisar slutresultatet för examensarbetet där resultatet av syftet och de uppsatta målen redogörs. Rekommendationer om fortsatt arbete för examensarbetet kommer att presenteras i slutet av kapitlet.

9.1 Utvärdering av syfte

Syftet med examensarbetet var att identifiera och utvärdera moment för en kollaborativ robot i en manuell monteringsslinga. Identifiering och reducering av monotona och belastande arbetsmoment genom att ersätta dem med en kollaborativ robot var i fokus under examensarbetet. Reduceringen av dessa moment skall ligga till grund för ett implementeringsförslag.

Genom besök och analys av befintlig data har fem moment identifierats som den kollaborativa roboten kan utföra. Några av de identifierade momenten kan anses vara ergonomiskt belastande samt repetitiva för medarbetare att utföra manuellt. Det framtagna implementeringsförslaget innehåller nya arbetssekvenser där ett människa-robot samarbete föreslås.

9.2 Utvärdering av mål

Huvudmål: *Huvudmålet är att utveckla en metod för att ta fram en specifikation som lägger grunden för implementering av en virtuell HRC-station med det långsiktiga slutmålet att implementera stationen i produktionen.*

> Det uppsatta huvudmålet att utveckla en metod för att ta fram en specifikation som lägger grunden för implementering av en virtuell HRC-station har uppnåtts och består av föreslagna förutsättningar samt 10 steg.

Delmål: *Undersöka relevant litteratur och forskning inom området linjebalansering och människa-robot samarbete, samt säkerhetsaspekter.*

> Relevant litteratur och forskning inom området linjebalansering och människa-robot samarbete har undersökts och bidragit till det genererade slutresultatet.

Delmål: *Genomföra en nulägesanalys genom datainsamling med minst en relevant teknisk metod. Detta innebär att relevant litteratur och forskning tillsammans med insamlad data skall ligga till grund för nulägesanalysen.*

> En nulägesanalys är framtagen genom att undersöka befintlig data.

Delmål: *Baserat på nulägesanalysen undersöka möjligheter att implementera en kollaborativ robot för att minska antalet repetitiva och ergonomiskt belastande moment för montörerna.*

> Implementeringsförslagen består av en ny arbetssekvens per variant där momenten är omfördelade samt att de identifierade momenten som är delgivna roboten. Förslaget har möjlighet att reducera antalet tunga lyft samt skruvdragningar på station 4. Två layoutförslag är framtagna där skillnaderna är kåpans placering.

Delmål: *För att testa olika delmoment skall en fysisk robotdemonstrator utvecklas, med syftet att utvärdera säkerhet, funktionalitet och ta tider.*

En fysisk robotdemonstrator är framtagen för at testa de föreslagna momenten. Demonstratorn som finns i dagsläget används till att utvärdera robotens förmåga med de förutsättningar som finns.

Den ursprungliga tidsplanen har på grund av förändrade förutsättningar inte varit möjlig att efterfölja. Detta bidrog till att planeringen förändrades under examensarbetets gång, se Bilaga F.

9.3 Fortsatt arbete

Ytterligare utvärderingar gällande robotverktyg, tider för moment samt komponenter måste genomföras. För att arbetssekvensen skall hållas under TAKT-tiden bör den kollaborativa roboten vara utrustad med eller ha tillgång till tre verktyg. Ett verktygsbyte i denna sekvens är ej att rekommendera då tiden inte räcker till samt att verktygen är tunga hantera. För att kunna utvärdera att skruvdragningen kan utföras i en hel sekvens anser vi att en mutterdragare är att föredra vid utvärdering av moment D.

Vår rekommendation gällande de föreslagna implementeringsförslagen är att utvärdera stationen och den kollaborativa roboten med hjälp av en virtuell-HRC station samt en efterliknande demonstrator av stationen. Detta för att kunna säkerställa robotens precision, repeterbarhet samt stationens säkerhet. Detta bör ligga till grund för en framtida riskanalys av stationen.

För att kunna jämna ut arbetsbelastningen mellan stationerna vid en implementering av en kollaborativ robot rekommenderas en linjebalansering att utföras. Detta då tid frigivits från montören på station 4 och kan tilldelas andra arbetsuppgifter. Linjebalanseringen behöver inte vara begränsad till de fem stationerna som examensarbetet var avgränsat till.

Referenser

15066, I., :2016. *ISO/TS 15066 Robots and robotic devices- Collaborative robots.* u.o.:u.n.

Bauer, W. o.a., 2016. *Lightweight robots in manual assembly - Best to start simply!,* Stuttgart: Fraunhofer IAO.

Bicheno, J., Anhede, P., Hillberg, J. & Holweg, M., 2011. *Ny verktygslåda för Lean: Filosofi, transformation, metoder och verktyg.* 4 red. Göteborg: Revere.

Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M. & Pilati, F., 2017. Multi-Objective Assembly Line Balancing Considering Component Picking and Ergonomic Risk. *Computers & Industrial Engineering,* Volym 112, pp. 348-367.

Bredberg, M., 2018. Theory of frequency studies. *Industrial developement center.*

Cherubini, A. o.a., 2016. Collaborative manufacturing with physical human–robot interaction. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing,* Volym 40, pp. 1-13.

El Makrini, I. o.a., 2018. Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line. *IEEE Robotics and Automation Magazine,* Volym 25, pp. 51-58.

Freivalds, A. & Niebel, B. W., 2013. *Niebel's Methods, standards, and work design.* 13 red. New York: McGraw-Hill Higher Education.

Grahn, S., Langbeck, B., Johansen, K. & Backman, B., 2016. Potential Advantages Using Large Anthropomorphic Robots in Human-robot Collaborative, Hand Guided Assembly. *Procedia CIRP,* 44(6), pp. 281-286.

Groover, M. P., 2015. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing.* 4 red. Boston: Pearson.

Gulliksson, H. & Holmgren, U., 2018. *Hållbar utveckling: teknik, samhälle och livskvalitet.* 3 red. Lund: Studentlitteratur.

Hwang, J., 2016. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): Intelligent Manufacturing. *SMT: Surface Mount Technology,* Volym 31, pp. 10-15.

Höst, M., Regnell, B. & Runeson, P., 2006. *Att genomföra examensarbete.* Lund: Författarna och Studentlitteratur.

Leidenkrantz, A. & Westbrandt, E., 2019. *Implementation of machine vision on a collaborative robot,* Skövde: Högskolan i Skövde.

Martinsson, P. & Svensson, V., 2019. *Människa-robot samarbete med hjälp av virtuell simulering,* Skövde: Högskolan i Skövde.

Mateus, J. C. o.a., 2019. A Structured Methodology for the Design of a Human-Robot Collaborative Assembly Workplace. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.*

Matsas, E. & Vosniakos, G.-C., 2017. Design of a Virtual Reality Training System for Human-Robot Collaboration in Manufacturing Tasks. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing,* 11(2), pp. 139-153.

Michalos, G. o.a., 2015. Design Considerations for Safe Human-robot Collaborative Workplaces. *Procedia CIRP,* Volym 37, pp. 248-253.

MTM-Föreningen i Norden, u.d. *MTM-SAM.* [Online]
Available at: http://nordiskproduktivitet.com/?id=71
[Använd 1 Mars 2019].

Nationalencyklopedin, u.d. *tidstudier.* [Online]
Available at: http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/tidsstudier
[Använd 9 Mars 2019].

Oates, B. J., 2006. *Researching information systems and computing.* London: SAGE.

SOLME AB, 2018. *AVIX översikt.* [Online]
Available at: https://www.avix.eu/anvandningsomraden/avix-oversikt/
[Använd 1 Mars 2019].

Swedish Standards Institute, u.d. *Internationell standardisering.* [Online]
Available at: https://www.sis.se/standardutveckling/internationell-standardisering/
[Använd 3 Mars 2019].

UR, 2019. *Universial-robots.com.* [Online]
Available at: https://www.universal-robots.com/media/1802432/e-series-brochure.pdf
[Använd 1 Mars 2019].

Bilaga A

UR10e technical details

Performance

Power consumption	Approx. 350 W using a typical program
Safety System	All 17 advanced adjustable safety functions incl. elbow monitoring certified to Cat.3, PL d. Remote Control according to ISO 10218
Certifications by TUV Nord	EN ISO 13849-1, Cat.3, PL d, and full EN ISO 10218-1
F/T Sensor - Force, x-y-z	
Range	100 N
Resolution	2.0 N
Accuracy	5.5 N
F/T Sensor - Torque, x-y-z	
Range	10 Nm
Resolution	0.02 Nm
Accuracy	0.60 Nm

Specification

Payload	10 kg / 22 lbs	
Reach	1300 mm / 51.2 in	
Degrees of freedom	6 rotating joints DOF	
Programming	Polyscope graphical user interface on 12 inch touchscreen with mounting	

Movement

Pose Repeatability	+/- 0.05 mm, with payload, per ISO 9283	
Axis movement robot arm	Working range	Maximum speed
Base	± 360°	± 120°/s
Shoulder	± 360°	± 120°/s
Elbow	± 360°	± 180°/s
Wrist 1	± 360°	± 180°/s
Wrist 2	± 360°	± 180°/s
Wrist 3	± 360°	± 180°/s
Typical TCP speed		1 m/s / 39.4 in/s

Features

IP classification	IP54	
ISO Class Cleanroom	5	
Noise	Less than 65 dB(A)	
Robot mounting	Any Orientation	
I/O ports	Digital in Digital out Analog in Tool communication	2 2 2 RS-485
I/O power supply in tool	12V/24V 600mA continuous, 2A peak	
Ambient temperature range	0-50°C*	
Humidity	90%RH (non-condensing)	

Physical

Footprint	Ø 190 mm
Materials	Aluminium, Plastic, Steel
Tool (end-effector) connector type	M8 | M8 8-pin
Cable length robot arm	6 m / 236 in
Weight including cable	33.5 kg / 73.9 lbs

* The robot can work in a temperature range of 0-50°C. At high continuous joint speeds the maximum allowed ambient temperature is reduced.

Control box

Features

IP classification	IP44	
ISO Class Cleanroom	6	
Ambient temperature range	0-50°	
I/O ports	Digital in Digital out Analog in Analog out 500 Hz control, 4 separated high speed quadrature digital inputs	16 16 2 2
I/O power supply	24V 2A	
Communication	Control frequency: 500 Hz ModbusTCP: 500 Hz signal frequency ProfiNet and EthernetIP: 500 Hz signal frequency USB ports: 1 USB 2.0, 1 USB 3.0	
Power source	100-240VAC, 47-440Hz	
Humidity	90%RH (non-condensing)	

Physical

Control box size (WxHxD)	475 mm x 423 mm x 268 mm 18.7 in x 16.7 in x 10.6 in
Weight	Max 13.6 kg / 30.0 lbs
Materials	Steel

Teach pendant

Features

IP classification	IP54
Humidity	90%RH (non-condensing)
Display resolution	1280 x 800 pixels

Physical

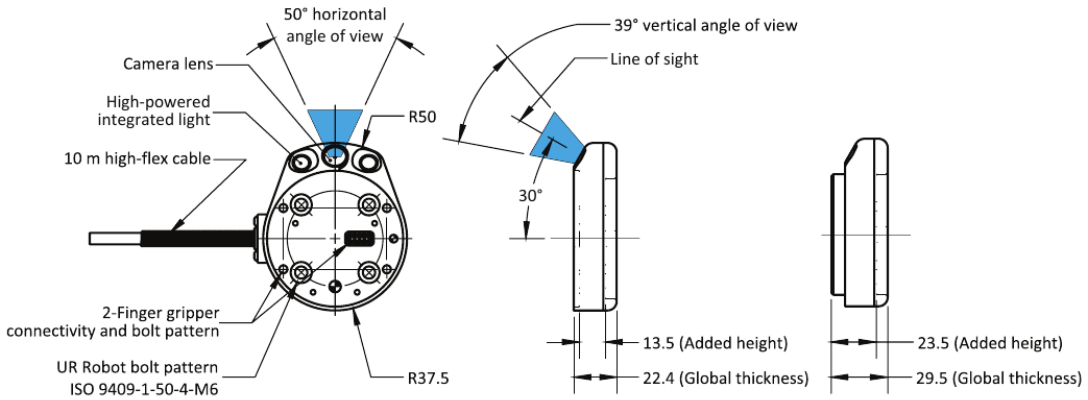
Materials	Plastic
Weight including 1 m of TP cable	1.6 kg / 3.5 lbs
Cable length	4.5 m / 177.17 in

UNIVERSAL ROBOTS

universal-robots.com

Bilaga B

ROBOTIQ CAMERA TECHNICAL DATA



CAMERA SPECIFICATIONS

Maximal resolution	5 Mpx @ 2fps	2560 X 1920
Maximal framerate	30 fps @ 0.3 Mpx	640 X 480
Active array size	2592 X 1944	
Focus range	70 mm to infinity	
Autofocus	Yes	
Integrated lighting	6 LED diffuse white light	

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Added height	13.5 mm (Without tool plate) 23.5 mm (With tool plate)	Distance between the robot flange and the tool base
Weight	160 g	Without the cable
Maximum load	10 kg	
Operating temperature	0°C to 50°C	
Environmental protection	Water-tight	
Operating conditions	Environment free from powerful electromagnetic interference and corrosive or explosive liquids or gases Non-condensing humidity level Lense must be free from dust, soot and water	

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Nominal supply voltage	24 V DC ±20%	
Quiescent power consumption	1 W	
Maximum power consumption	22 W	When light is on
Communication interface	USB 2.0	Software package available for Universal Robots

VISION SPECIFICATIONS*

	UR3	UR5	UR10
Minimum field of view (cm)	10 x 7.5	10 x 7.5	10 x 7.5
Maximum field of view (cm)	36 x 27	64 x 48	100 x 75
Minimum part size (% of field of view)	10%	10%	10%
Maximum part size (% of field of view)	60%	60%	60%
Maximum part height: smallest dimension	1:1	1:1	1:1

* Vision spec will change according to the teached snapshot position, see instruction manual for details

Compatibility: Universal Robots UR3, UR5 & UR10 with controller CB3.1 or higher only

robotiq.com
info@robotiq.com
T: 1.418.380.2788

Updated on September 9, 2016
Specifications subject to change without notice

Bilaga C

VG10 VACUUM GRIPPER DATASHEET

KEY FEATURES

- ✓ Easy installation, programming and risk assessment
- ✓ Dual grip with two independent gripping zones
- ✓ No need for external air or cables down the robot
- ✓ 10 kg lifting power on airtight and slightly porous surfaces
- ✓ Plug'n'Produce in 30 minutes (installation + robot programming)

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Technical data	Min	Typical	Max	Units
Vacuum	5 %	-	80 %	[Vacuum]
	-0.05	-	-0.810	[Bar]
	1.5	-	24	[inHg]
Air flow	0	-	12	[Nl/min]
Power supply	20.4	24	28.8	[Volts]
Current consumption*	50	600	1500	[mA]
Operating temperature	0	-	50	[°C]
	32	-	122	[°F]
Reach	32	-	358	[mm]
	1.26	-	14.09	[in]
Adjustable arms	0	-	270	[°]
Holding torque arms	-	6	-	[Nm]
Payload	0	-	10	[kg]
	0	-	22	[lb]
Vacuum cups	1	-	16	[pcs.]
Gripping time	-	0.35	-	[s]
Releasing time	-	0.20	-	[s]
Foot-inch-foot	-	1.40	-	[s]

* Enablable control and adjustable. By default limited to 600 mA

Version 1.1.1

Copyright © 2015 - 2019 by OnRobot A/S. All rights reserved

Bilaga D

VG10 VACUUM GRIPPER DATASHEET

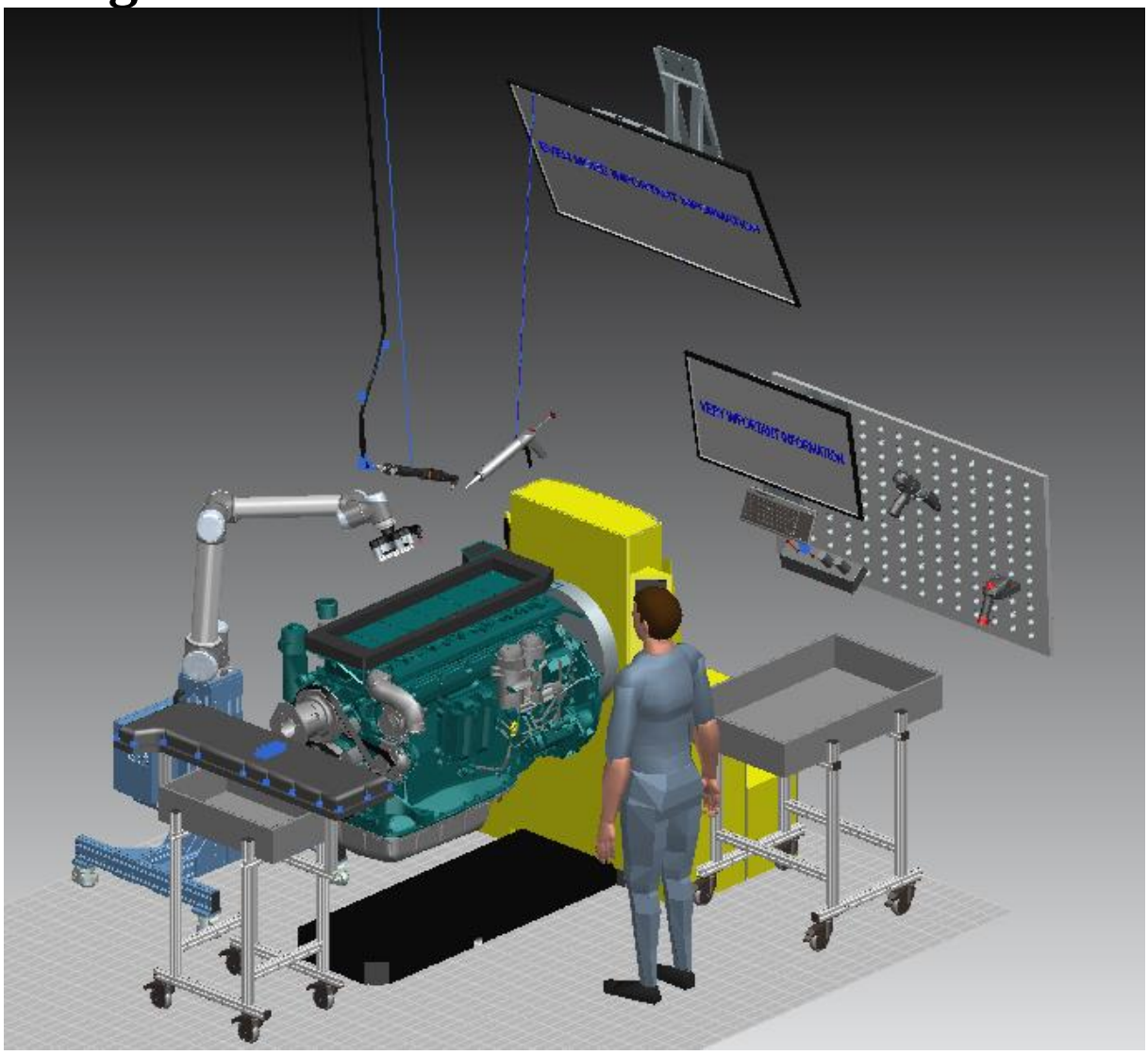
FEATURES

	Feature
Vacuum pump	Integrated, electric BLDC
Arms	4, adjustable by hand
Tool changer	Integrated, click-on
Mechanical interface	ISO 9409-1, type 50-4-M6
Pneumatic interface	16x G1/8 internal threads
Electrical interface	8-pole M8
Digital interfaces	URCap (PolyScope ≥ 3.3) UR scripts (PolyScope < 3.3) MODBUS RTU 24V I/O
Dust filters	Integrated 50µm, field replaceable
IP Classification	IP54
Dimensions (folded)	146 x 146 x 102 mm 5.75 x 5.75 x 4.00 inch
Dimensions (unfolded)	390 x 390 x 102 mm 15.35 x 15.35 x 4.0 inch
Weight	1.70 kg 3.75 lb

Version 1.1.1

Copyright © 2015 - 2019 by OnRobot A/S. All rights reserved

Bilaga E



Bilaga F

Ursprunglig tidsplan																			
Aktivitet	**v. 4**	**v. 5**	**v. 6**	**v. 7**	**v. 8**	**v. 9**	**v. 10**	**v. 11**	**v. 12**	**v. 13**	**v. 14**	**v. 15**	**v. 16**	**v. 17**	**v. 18**	**v. 19**	**v. 20**	**v. 21**	**v. 22**
Uppstart																			
1 Litteraturstudie																			
2 Datainsamling																			
3 Linjebalansering																			
4 Kollaborativ robot																			
5 Dokumentation & rapportskrivning																			
6 Förberedelse av presentation & opponering																			

Verklig tidsplan																			
Aktivitet	**v. 4**	**v. 5**	**v. 6**	**v. 7**	**v. 8**	**v. 9**	**v. 10**	**v. 11**	**v. 12**	**v. 13**	**v. 14**	**v. 15**	**v. 16**	**v. 17**	**v. 18**	**v. 19**	**v. 20**	**v. 21**	**v. 22**
Uppstart																			
1 Litteraturstudie																			
2 Datainsamling																			
3 Momentanpassning																			
4 Kollaborativ robot																			
5 Dokumentation & rapportskrivning																			
6 Förberedelse av presentation & opponering																			