Udvikling af bin-picking løsning for svejserobotcelle hos Ergonomic Solutions A/S

Søren Ringsborg

Studienævn for Industri og
Global Forretningsudvikling
Fibigerstræde 16
DK - 9220 Aalborg Øst
Tlf. 99 40 93 09
swe@me.aau.dk
www.industri.aau.dk

Titel: Udvikling af bin-picking løsning til svejserobotcelle hos Ergonomic Solutions A/S
Semester: 6. semester
Semestertema: Diplomprojekt
Projektperiode:
1-4-2014 - 14-8-2014
ECTS: 30

Søren Ringsborg

Vejleder:
Ole Madsen
Professor M.Sc. , Ph.D.
Mekanik og Produktion

Oplag: 3
Antal sider: 33
Appendiks: 8
Bilag: 11

Synopsis:

The focus of this diplomaengineeringproject was to develop an automated bin-picking solution for the weldingrobotcelle at Ergonomic Solutions A/S in Nørresundby. To be able to take qualified choices towards a solution the current weldingrobotcelle was researched.
Together with Lasse Thimsen from LT Automation a bunch of ideas for solutions were brainstormed on the basis of the data gathered from the researched. The solutions developed were compared on two parameters: cycletime and initial expenditure. From these parameters it was possible to decide on a solution.
To judge whether or not the the chosen solution wil be economically feasible the initial expenditure for the entire solution has been found, just shy of 1.000.000kr. This has been compared to the running costs of the current solution. From this it was projected that the bin-picking solution for the weldingrobotcelle will have paid itself back after a period of 2,5 years, if it runs two shifts each day.
It is recognized that there is a lot of work left to be done for this solution to be ready to be installed, however the largest item on the list of things to be done, the choosing of a specific bin-picking solution, must be done in coorperation with a supplier in order to be sure that the solution wil be able to handle all the products that are worked today.

Indhold

1 Baggrunden for projektet **2**

1.1 Initierende problemstilling 2

2 Analyse af svejserobotcellen **3**

2.1 Nuværende celle 3

2.2 Emner der behandles i cellen 4

2.3 Cyklustider og takttider 7

2.4 Delkonklusion 8

3 Forsøg foretaget i samarvejde med FANUC Robotics **10**

3.1 Forsøg hos FANUC Robotics i Luxenborg 10

4 Koncepter til løsningsforslag **11**

4.1 Indledende opdeling og specificering af cellens grupper 11

4.2 Idéudvikling for Gruppe 2 12

4.3 Idéudvikling for Gruppe 3 14

5 Udvælgelse af løsning **16**

5.1 Valg af løsning for Gruppe 2 16

5.2 Valg af løsning for Gruppe 3 17

5.3 Konklusion 18

6 Økonomisk analyse **20**

7 Konklusion og Videre arbejde **22**

Litteraturliste **24**

A Generel beskrivelse af bin-picking teknologi **26**

B Beregninger af cyklustider for forskellige robotsammensætninger **31**

Kapitel 1

Baggrunden for projektet

Ergonomic Solutions A/S er en virksomhed, der specialiserer sig i at fremstille ergonomiske løsninger blandt andet til montage af Dankortautomater. Virksomheden har eksisteret siden 1996 og afdelingen Ergonomic Solutions Manufacturing A/S, der er baggrund for dette projekt, har eksisteret siden 2007.
Ergonomic Solutions Manufacturing A/S er beliggende i Nørresundby, de har 75 ansatte, hvoraf 13 arbejder i produktionen. Virksomheden i Nørresundby står for hele koncernens samlede produktion. Virksomheden har oplevet en betydelig vækst de sidste par år og dette har givet et pres på deres produktion, i så høj en grad, at de har svært ved at følge med efterspørgslen. For at afhælpe dette problem er de i gang med en automatisering af deres produktion.

1.1 Initierende problemstilling

En af de dele i produktionen, de ønsker automatiseret, er deres MiG svejserobotcelle. Denne robotcelle håndterer en bred række af de produkter virksomheden producerer. Selve svejsningen sker automatisk mens fødningen og fjernelse af færdigtsvejste emner sker manuelt.
Ergonomic Solutions har givet udtryk for, at de ønsker udviklet en løsning, der er fjerner behovet for den konstante tilstedeværelse af en medarbejder. De ønsker, hvis det er muligt, en løsning, hvor det eneste, der skal ske manuelt, er når der skal udskiftes paller med delemner samt færdigsvejste emner. Ergonomic Solutions har forud for dette projekt haft virksomheden LT Automation til at udarbejde en mulig løsning. Ergonomic Solutions er i samråd med LT Automation kommet frem til, at den bedste metode at løse problemet på er ved at benytte sig af bin-picking teknologi til den automatiske fødning, forudsat løsningen er i stand til at håndtere alle de emner, der bearbejdes i cellen. Der kan på baggrund af dette opstilles en initierende problemstilling:

"Er det muligt at udvikle en bin-picking løsning til MiG svejserobotcellen hos Ergonomic Solutions i Nørresundby, der er i stand til at håndtere alle de emner der håndteres i den nuværende opsætning?"

Kapitel 2

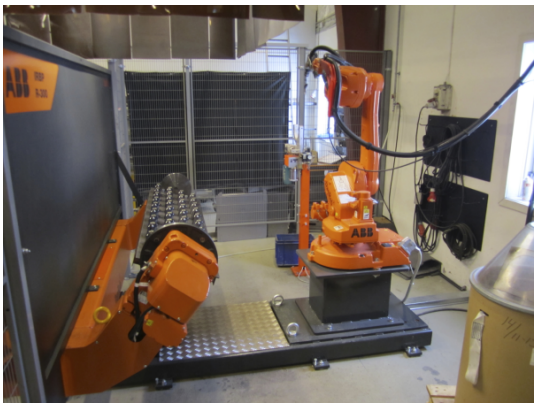
Analyse af svejserobotcellen

Før de er muligt at begynde at udvikle løsningsforslag til opgaven, er det nødvindigt at analysere dens nuværende opstilling og produktion for at afdække alle mulige problemstillinger.

2.1 Nuværende celle

Den nuværende celle består af to maskiner, en ABB IRB 1600 svejserobot, samt en ABB IRBP 300 manipulator. De to maskiner kan ses på Figur 2.1. Et nærmere overblik over hele cellen kan

(a) *Manuel ladestation.*

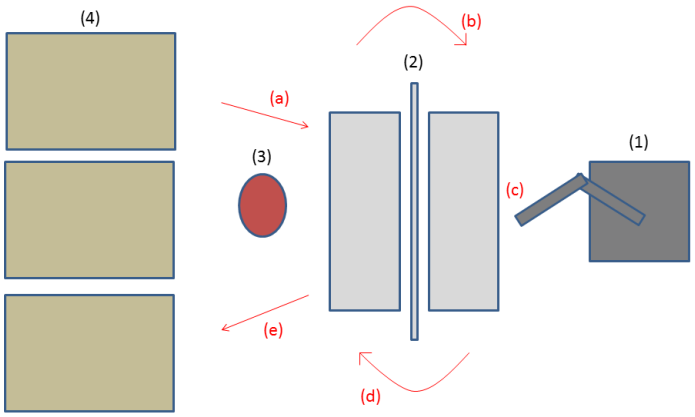


(b) *Svejserobotten.*

Figur 2.1: *Svejserobotcellen som den ser ud hos Ergonomic Solutions i dag.*

ses op Figur 2.2. Selve cellen er opbygget ved at svejserobotten (1) er placeret bagerst i cellen og er afskærmet, både for adgang, men også for at kunne kigge ind til robotten når den svejser. Dernæst følger manipulatoren (2), der er opstillet mellem robotten og medarbejderen. Element (3) i den nuværende celles opbyging er medarbejderen, der står for at lade og aflade fiksturene. Den sidste del af cellen, del (4) er pallerne med emner. Disse er placeret på palleløftere for at holde dem i en ergonomisk favorabel højde. Produktionscyklussen er den samme for alle emner, der håndteres i cellen og består af fem trin, der er vist på Figur 2.2.

- Arbejderen fylder fiksturet med emner (a).
- Arbejderen går ud af cellen og aktiverer manipulatoren, der drejer emnerne ind til svej-



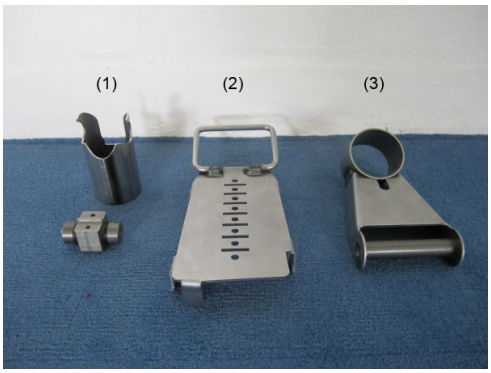
Figur 2.2: *Principskitse af den nuværende celles opbygning.*

serobotten (b).

- Emnerne svejses (c).
- Når arbejderen aktiverer manipulatoren for at dreje de usvejste emner ind til svejserobotten føres de færdigsvejste emner ud (d).
- De færdigsvejste emner fjernes fra fiksturet og placeres i pallen (e).

2.2 Emner der behandles i cellen

Før der kan undersøges cyklustider og produktionstal, er det først nødvendigt at beskrive de emner, der håndteres i cellen. Svejserobotcellen behandler tre forskellige emner, disse kan ses på Figur 2.3. Disse emner består af 6 forskellige komponenter, der enten laves på fabrikken er eller



Figur 2.3: *De tre typer emner der bearbejdes af svejserobotcellen.*

laves af underverandører og så kommer klar til brug.

2.2.1 Emner og delkomponenter

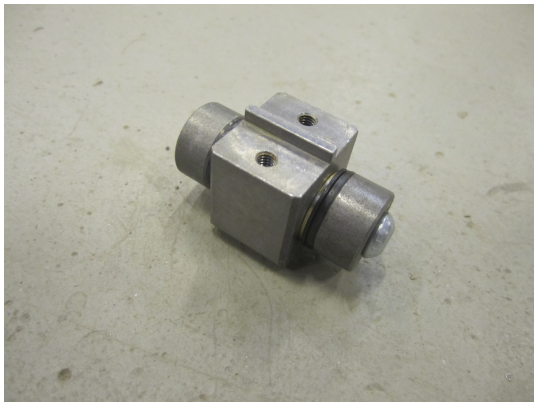
Emnerne kan opdeles i tre kategorier (1) SP1 eller SP2, som også kan ses på Figur 2.3, er et metalrør med en indsats, der svejses fast med to punktsvejsninger. Modellen kommer i to forskellige diametre, 44,5 mm (SP1) samt 50,8 mm (SP2).
Selve metalrøret laves på fabrikken og kan ses på figur 2.4.
Indsatsen, også kaldet et kødben, leveres af en underleverandør og kommer i EUR-halvpaller

Figur 2.4: *Metalrøret der benyttes til SP1 og SP2*

.

med dimensionerne 800x600mm. Hver palle indeholder 2.500 emner. Et eksempel på pallen samt selve komponenten kan ses på Figur 2.5.

Emne (2), eller MultiGrip er den plade, hvorpå blandt andet Dankortautomaten sættes fast.



(a) *Indsats til SP1 eller SP2 også kaldet „kødbenet“.*

(b) *EUR-halvpalle med „kødben“ komponent.*

Figur 2.5: *Indsats til SP1 og SP2 samt den EUR-halvpalle de ankommer i.*

Emnet kommer i 40 forskellige størrelser, men består alle af en plade med udskæringer, hvorpå der fastsvejses et håndtag med to punktsvejsninger. Et af de forskellige emner kan ses på Figur 2.3.

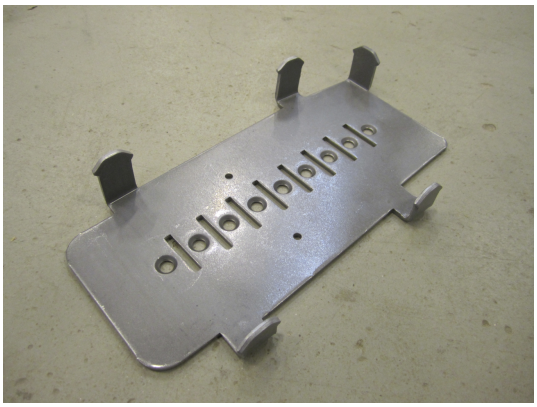
Alle pladerne udstanses og bukkes på fabrikken. Et eksempel på selve pladen samt en palle med emner kan ses på Figur 2.6.

Håndtagene laves af ekstern leverandør og ankommer på et aluminiumsrør med 120 emner, som set på Figur 2.7.

Emne (3) Mellemled SP2 består af en cylinder, en bukket plade samt et rør. Dette emne adskiller sig fra de andre ved, at det ikke svejses med to punktsvejsninger men i stedet to kanstsømssvejsninger på 2 cm. Emnet kan ses på Figur 2.3.

Begge komponenterne til Mellemled SP2 laves på fabrikken. Et eksempel kan ses på Figur 2.8.

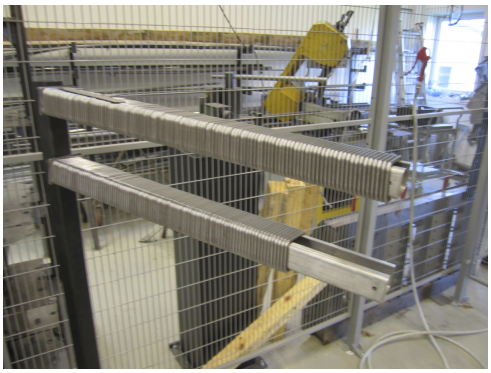
Fælles for alle emnerne, der laves på fabrikken, er, at de er placeret ustruktureret i standard EUR-paller med op til tre rammer i højden.



(a) *Eksempel på metalplade til MultiGrip.*

(b) *EUR-palle med plade komponenten til MultiGrip.*

Figur 2.6: *Eksempel på MultiGrip plade model samt palle med emner.*



Figur 2.7: *Aluminiumsrør med håndtag til MultiGrip.*

(a) *Metalrør til Mellemled SP2.*

(b) *Bukkede plader til Mellemled SP2.*

Figur 2.8: *Eksempel på MultiGrip plade model samt palle med emner.*

2.3 Cyklustider og takttider

Der blev d. 25-4-2014 foretager målinger på cellen for at fastlægge cyklustider og takttider samt for at gøre det muligt at lave estimationer på produktionstal. Der blev foretaget målinger for alle tre typer produktion. For hver enkelt type emne blev der foretaget 10 målinger, hvor operatøren blev bedt om at arbejde ved normal hastighed.
Hver måling blev fastlagt som den tidsperiode, der gik imellem aktivering af manipulatorens rotation. Resultatet af målingerne kan ses på Tabel 2.1.
Det ses her at den korteste cyuklustid er 2 minutter og 29 sekunder og er for MultiGrip, mens

	MultiGrip (16)	SP1 (36)	Mellemled SP2 (30)
Gens. tid	00:02:29	00:05:04	00:05:34

Tabel 2.1: *Gennemsnitlig cyklustid for helt svejsesæt.*

den længeste cyklustid er for Mellemled SP2 og er 5 minutter og 34 sekunder. Tallet i parantes angiver, hvor mange emner, der er i hvert fikstur for det specifikke emne.
Hvis dette ganges ud, kan den samlede cyklustid for et emne af hver af de tre typer bestemmes.

$$Cyktid = \frac{Gens.tid}{Emner_{per\,fikstur}} \tag{2.1}$$

Hvis det i stedet er takttiden, der skal findes,er det nødvendigt at bestemme hvor mange ope-

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Cyktid	00:00:09	00:00:08	00:00:11

Tabel 2.2: *Cyklustid for alle tre emnetyper.*

rationer der skal foretages for et skift. Hvis der ses på den samlede operation ses det, at der for hvert emne foretages tre håndteringer: Det færdigtsvejste emne skal fjernes fra fiksturet. Dernæst skal de to komponenter i emnet isættes hvert for sig.
Dette giver for hver type emne følgende håndteringer:

$$MultiGrip = 48 \qquad SP1 = 108 \qquad MellemledSPw = 90 \tag{2.2}$$

Det er således muligt at finde en takttid for hvert emne:

$$Takttid = \frac{Gens.tid}{Op_{per\,emne}} \tag{2.3}$$

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Takttid	00:00:03	00:00:03	00:00:04

Tabel 2.3: *Takttid for alle tre emnetyper.*

2.3.1 Produktionstal

Nu hvor vi kender cyklustiderne og takttiderne er det muligt at lave beregninger på den estimerede produktion.
Et helt arbejdsskift sættes til at være 8 timer. Ud fra dette er det muligt at udregne, hvor meget der i princippet burde produceres, se Tabel 2.4.
I realiteten er det lidt anderledes, på grund af spisepauser og diverse andre ophold i produk-

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Potentielt antal svejsesæt per 8 timers skift	193	95	86
Antal potentielle emner per 8 timers skift	3093	3412	2585

Tabel 2.4: *Mulig produktion for 8 timers skift.*

tionen er et mere realistisk estimat, at et reelt skift er 7 timer eller mindre. Der laves samme beregninger for den reelle produktion.
Tallene for et 8 timers skift og et 7 timers skift sammelignes og det er muligt at estimere hvor

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Reelt antal svejsesæt per skift $Reel_{perskift}$	169	83	75
Reelt antal emner per skift	2706	2985	2262

Tabel 2.5: *Reelt produktion per skift.*

meget produktionen direkte kunne øges. De sidste tal, der er interessante at bestemme, er svej-

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Mulig øget produktion ved kontinuerligt drift	387	426	323
I %	12,5	12,5	12,5

Tabel 2.6: *Reelt produktion per skift.*

serobottens reelle oppetid, da denne er bestemmende for, hvor meget det teoretisk er muligt at øge produktionen.
Ud fra målinger er det fastslået, at svejsetiden ca. kan fastlægges til at være 3 sekunder. Det er muligt ud fra de andre tal, der er fundet, at fastlægge svejserobottens relle oppetid.

$$Tot_{svejs} = 3sek \cdot 2 \cdot Gens.tid \tag{2.4}$$

Det er nu muligt at finde den reelle oppetid.

$$Reeloppetid = (Gens.tid - Tot_{svejs})Reel_{perskift} \tag{2.5}$$

2.4 Delkonklusion

Der er i dette kapital fundet cyklustider samt takttider for den nuværende produktion. Der er derudover lavet beregninger på den nuværende produktion samt belægningsgrad på svejserobotten. Disse tal viser, at alene ved at øge produktionen til de 8 timer, som et skift reelt er, er det muligt at øge produktionen med op til 12,5%. Beregningerne viser desuden at på trods af,

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Total svejsetid	00:01:36	00:03:36	00:03:00

Tabel 2.7: *Total svejsetid per fikstur.*

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Reelt oppetid for svejserobot	02:29:24	02:18:50	03:41:28
Reelt oppetid for svejserobt i %	36	33	53

Tabel 2.8: *Svejserobotttens reelle oppetid i et skift.*

at svejserobotcellen kører „hele tiden“, så er den reelle belægningsgrad på svejrerobotten et sted mellem 33 - 53 %.

Kapitel 3

Forsøg foretaget i samarvejde med FANUC Robotics

Der vil i dette kapitel gives en kort beskrivelse af det forsøg, der blev foretaget af FANUC Robotics i forbindelse med opgaven. Dertil gives en kort forklaring af resultaterne.

3.1 Forsøg hos FANUC Robotics i Luxenborg

Opgaven med at designe en bin-pickingsystem for Ergonomic Solutions var allerede i gang ved starten af praktikforløbet og under forløbet, blev der lavet en aftale med FANUC Robotics om at få udført et forsøg på deres testcenter i Luxenborg for at fastlægge, hvorvidt deres bin-picking løsning ville være i stand til at håndtere alle de emner, der svejses i svejserobotcellen.

Fanuc fik tilsendt tre paller med tre ud af de typer emner, der bearbejdes i cellen. De tre emner, der blev udvalgt, var var metalrøret til SP1, der kan ses på Figur 2.4, indsatsten til metalrøret vist på Figur 2.5(a), samt metalpladen til MultiGrip som vist på Figur 2.6(a) i Kapitel 2. Forsøgsresultaterne viste, at emne 1 og 2 vil være mulige at bin-picke, hvis bestemte forhold overholdes mens emne 3 egner sig ikke til at blive bin-picket som vist på Figur 3.1. Yderligere

Figur 3.1: *Resultaterne af Fanuc tests.*

forklaring kan ses i Bilag 1. Det, der kan tages med fra disse forsøg er, at hvis der skal udvikles en løsning, er det nødvendigt at finde en måde at løse problemerne med at samle emne 3 op. For at give et bedre indblik i hvad bin-picking rent faktisk er, er der lavet en generel beskrivelse, denne er at finde Appendiks A

Kapitel 4

Koncepter til løsningsforslag

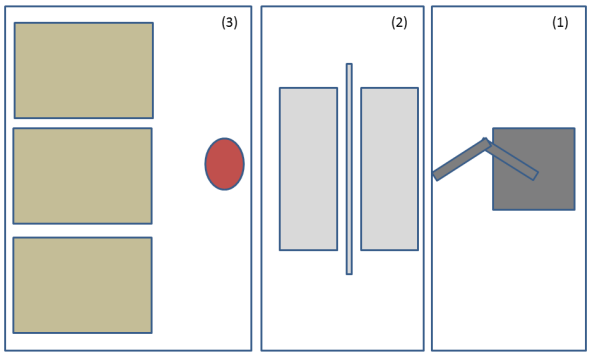
Nu hvor der er undersøgt, hvilke metoder der eksisterer indenfor bin-picking, samt hvilke problemstillinger, der er at finde for de emner, der arbejdes med her, er det første der gøres at komme frem til forskellige løsningsforslag. De forskellige løsningsforslag er udbarbejdet i samarbejde med Lasse Thomsen fra LT Automation. Der vil blive opstillet en række løsningsforslag, der er opbygget i segmenter. Efterfølgende vil der opstilles fordele og ulemper for de enkelte løsningsforslag og der vil blive udvalgt ét som der vil arbejdes videre med.

4.1 Indledende opdeling og specificering af cellens grupper

Selve svejserobotcellen kan opdeles i fire grupper.

1. Svejserobotten
2. Fikstur
3. Montageproces

Hver del skal ses som en overordnet måde at anskue problemstillingen på. Gruppe nummer 1 selve svejserobotten kan der ikke ændres på, det er et krav fra virksomhendens side, at den færdige løsning kommer til at benytte svejserobotten som den er.



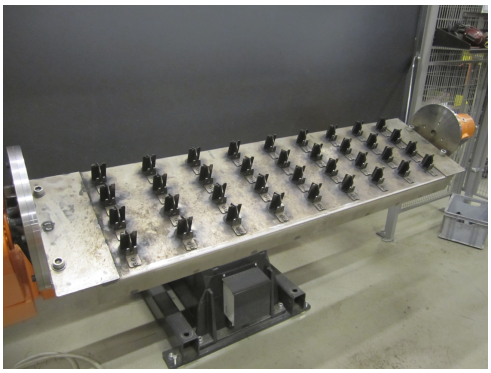
Figur 4.1: *Cellens opdeling for konceptudvikling.*

Gruppe 2 er fiksturet. Der er som sådan ikke noget krav til, hvorvidt den eksisterende manipulator

skal benyttes i en ny løsning. Det vil sige, at hvis der findes en overlegen løsning, der benytter en anden metode til at fiksere emnerne, er der ikke noget i vejen for denne løsning. Gruppe 3 er selve montage processen, der i dag er en medarbejder, der flytter emnerne fra pallerne til fiksturet og det er planen at, denne funktion skal varetages af en robot. realistisk set er det gruppe tre, der bliver fokusområdet for udviklingen af en løsning og det er her den primære forskal på løsningerne vil være. Måden hvorpå cellen opdeles kan ses på Figur 4.1.

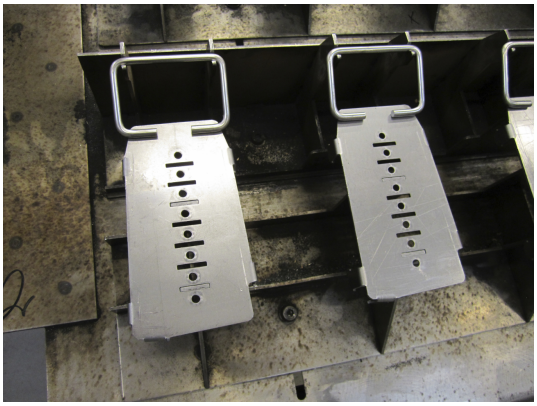
4.2 Idéudvikling for Gruppe 2

Der startes med at se på Gruppe 2: fikseringen af emnerne. Gruppe 1, selve svejserobotten, kan ignoreres da den skal forblive den samme. Fikseringen af emnerne finder i dag sted på en ABB IRBP 300 manipulator med fire forskellige fiksturer. Til emne 1 eller SP1/SP2 benyttes to forskellige fiksturer, en til SP1 med en rørdiameter på 44,5mm samt en til SP2 med en rørdiameter på 50,8mm. Disse to fiksturer har begge plads til 36 emner hver. Fiksturet til SP1 kan ses på Figur 4.2. Til emne to (MultiGrip) benyttes et fikstur med plads til 16 emner. Emne to er specielt i og

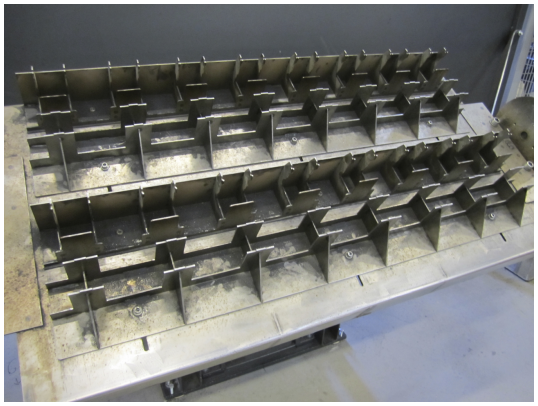


Figur 4.2: *Fiksturet der benyttes til emne ét SP1/SP2.*

med der benyttes det samme fikstur til alle de over 40 forskellige modeller, der svejses af denne. For at tilpasse fiksturet til den specifikke model, der skal svejses, justeres afstanden mellem de to punkter emnet fastsættes på. Et eksempel på et fastsat emne samt hele fiksturet kan se på Figur 4.3.



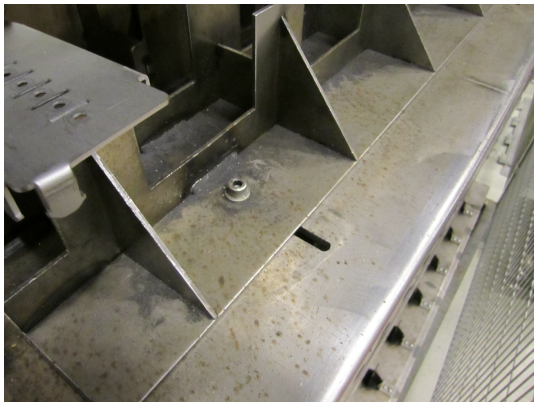
(a) *Emne to MultiGrip model placeret i fiksturet.*



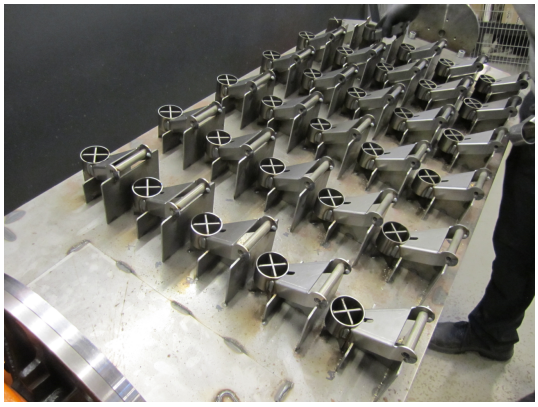
(b) *Selve fiksturet der benyttes til emne to MultiGrip.*

Figur 4.3: *Emne to MultiGrip fiksteret i fiksturet samt et overblik over selve fiksturet.*

Som tidligere nævnt justeres fiksturet ved at ændre længden mellem montagepunkterne, dette gøres ved at løsne seks bolte som det vist på Figur 4.4(a). Det sidste fikstur, der benyttes til



(a) *Én af seks bolte der skal løsnes for at justere fiksturet.*



(b) *Fiksturet der benttes til emne tre Mellemled SP2.*

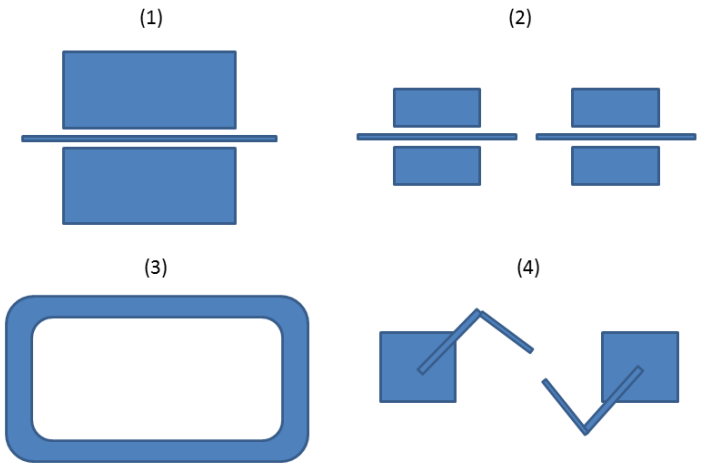
Figur 4.4: *Emne to MultiGrip fiksteret i fiksturet samt et overblik over selve fiksturet.*

emne 3, kan ses på Figur 4.4(b) og har plads til 30 emner.

Det vurderes at der er fire forskellige løsninger på hvordan fikseringsprocessen kan foregå.

1. Nuværende enkelt fikstur med maks. antal emner.
2. To mindre fiksturer med plads til et mindre antal emner.
3. Et samlebånd der kører kontinuerligt.
4. Intet fikstur, robotten tager hvert enkelt emne og fører det op til svejserobotten mens komponenterne holdes sammen.

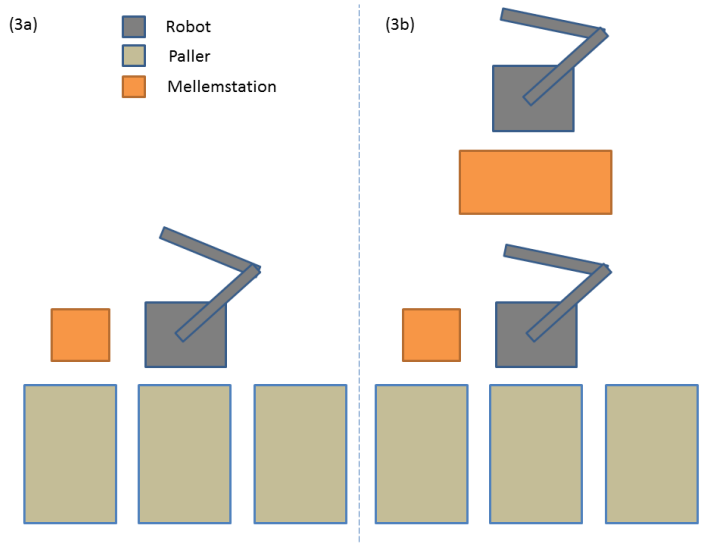
Koncepterne kan ses på Figur 4.5.



Figur 4.5: *De fire forskellige koncepter til fiksering af emner.*

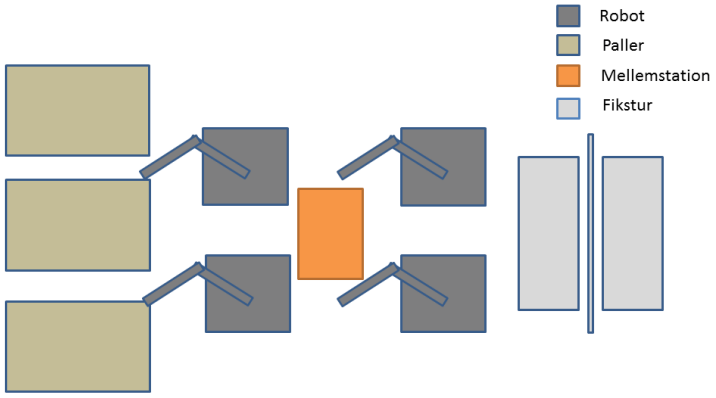
4.3 Idéudvikling for Gruppe 3

Gruppe tre indeholder to funktioner opsamlingen af emner fra paller samt isættelse af emner i fikstur. Disse to funktioner kan enten håndteres på en gang eller ved to individuelle håndteringer. Da det er planen at løsningen der skal findes skal fungere ved hjælp af bin-picking forudsættes det at funktionerne vil blive udført af robotter.
Selve bin-pickingen kan gøres enten „on the fly“ eller ved at indsætte en mellemstation hvor robotten placerer emnet efter at have samlet det op, da det ikke er sikkert, at det første greb på emnet er lavet på en sådan måde, at emnet kan placeres direkte i fiksturet. De to opsætninger kan ses på Figur 4.6.



Figur 4.6: *(3a) Begge funktioner udføres af en enkel robot, enten med eller uden et mellembord til at forbedre grebet på emnet. (3b) De to funktioner udføres af to forskellige robotter og robotten, der picker emnet fra pallen, placerer det på et mellembord eller et transportbånd.*

Hvis det skulle vise sig at én robot ikke er i stand til at overholde den krævede takttid, kan det være en mulighed at benytte to robotter, enten til at picke emnerne, isætte dem i fiksturet eller begge dele. Et eksempel på dette kan ses på Figur 4.7.



Figur 4.7: *Et eksempel på en løsning med to robotter til at lave begge håndteringer af emnerne.*

Dette giver følgende muligheder når der skal udvælges en løsning:

1. Antal håndteringer af emnet.
2. Antal robotter til placering af emner i fikstur.
3. Antal robotter til at picke emnerne.
4. Mellemstation til at ændre greb af komponent.
5. Samlebånd til emnerne mellem pick og isættelse i fikstur.

Der er nu fundet frem til hvilke elementer i løsningen, der er variable, næste skridt er så at bestemme hvorledes et system skal sættes sammen for at sikre så lav en cyklustid som muligt.

Kapitel 5

Udvælgelse af løsning

Efter de forskellige løsningsmuligheder er beskrevet, er næste skridt at udvælge en løsning. Dette gøres for hver gruppe, således der vælges en løsning for fikseringen og en løsning for selve bin-picking delen.

5.1 Valg af løsning for Gruppe 2

I første omgang skal antallet af mulige løsninger for Gruppe 2 reduceres. Der er fundet fire forskellige løsningsmuligheder:

- Det nuværende drejebord
- To mindre drejeborde
- Samlebånd
- Robot til robot

De forskellige valgmuligheder sammenlignes på to parametre, omkostninger og tid.

5.1.1 Omkostninger

Der ses først på omkostninger. Hvis de fire løsninger sammenlignes ses det, at der kun er direkte anskaffelsesomkostninger for løsning 2 og 3. For løsning 1 benyttes det eksisterende bord mens der for løsning 4 ikke er behov for et bord.
Selvom der vælges at beholde det nuværende drejebord vil det dog være nødvendigt at fremstille nye fiksturer, da den nuværende løsning med at skifte fiksturer, når der skiftes produktion, ikke længere vil være en mulighed. Dette skyldes at som systemet er nu benyttes en truck til at løfte fiksturerne.
Da der i den nye løsning vil være robotter der er fastmonteret til gulvet, vil det ikke være muligt at køre op til drejebordet, hvorfor der skal fremstilles et fikstur, hvor det er muligt at montere alle tre emne typer.
Overflødiggørrelsen af fiksturskift vil ud over at være gældende for løsningsmulighed 1 også være gældende for løsningsmulighed 2 og 3 da de opererer med samme fikseringsprincip. For løsningsmulighed 4 vil der være en ekstra omkostning med hensyn til gribeværktøjet, idét gribeværktøjet

ikke blot skal være i stand til at gribe alle emnetyperne, men samtidig være i stand til at gribe dem på en sådan måde, at de kan fastholdes i dem postition de skal svejses i. Det forventes derfor, at der enten skal fremstilles et værktøj, der kan håndtere alle emnetyper, eller et værktøj til hver type.
Der vil ikke i denne rapport blive at arbejdet med at udvikle en specifik løsning på dette værktøj. Dette vil kun gøres hvis det viser sig at der er belæg for at arbejde videre med løsningen. Det vurderes at udviklingen af et eller flere gribehoveder for løsning 4 vil være sammenlignelig med prisen for anskaffelsen af løsning 2 eller 3.

5.1.2 Tid

Den anden parameter der benyttes til at udvælge en løsning er tid. Det er på dette tidspunkt ikke muligt at give præcise tal for hvor meget tid, der tabes for de forskellige løsninger, men det er muligt at give et skøn på størrelsesordenen.
Der ses først på løsningsforslag 1. Der tages udgangspunkt i cellen som den fungerer i dag, hvor det meste af spildet sker på bagrund af opfyldningen af fiksturet, et spild som ikke har nogen sammenhæng med hvilken løsning der vælges. Der er to andre typer af tidsspild for den nuværende løsning; det være sig tid tabt på skift af fikstur, samt den tid der tabes hver gang drejebordet roterer. Tidsspildet for skift af fikstur er forholdvis let at løse, da det allerede er nødvendigt at udvikle en fikstur, der ikke er nødvendig at skifte ved produktionsskift. Det andet tidsspild er ikke muligt at ændre da det er en del af løsningens eksisterene funktion.
Løsningsforslag 2 er lig forslag 1 på mange områder, den eneste forskel er, at denne løsning består af to mindre drejeborde. Det er derfor sansynligt at antage, at dette system vil have de samme parametre som løsningsforslag 1 og den eneste forskel muligheden for at reducere tidsspildet ved at rotere det ene drejebord mens det andet fyldes.
Løsningsforslag 3. Det er for dette løsningsforslag ikke muligt at estimere et eventuelt tidsspild, da en kontinuerlig tilførsel af emner til svejesrobotten er mulig.
Løsningsforslag 4. Denne løsning forventes at have mest spildtid da al den tid robotten bruger på at samle emnerne op og holde dem op til svejserobotten er tid tabt.

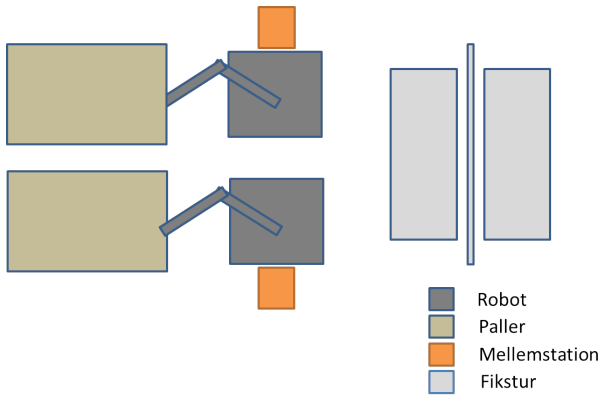
5.2 Valg af løsning for Gruppe 3

Næste skridt er at bestemme hvorledes løsningen for Gruppe 3 skal udformes for at overholde kravsspecifikationen. Der er i Kapitel 4 afsnit 4.3 fundet frem til fem forskellige muligheder der skal overvejes for at kunne bestemme sammnensætningen af systemet. For at kunne lave denne sammensætning, er der lavet en vurdering af cyklustiden for forskellige sammensætninger. Disse sammensætninger kan ses i Appendiks B.

De forskellige cyklustider er desuden sammenlignet i Appendiks B og det er her fundet frem til, at den løsning, der har den lavest cyklustid, er 17 sekunder og er fundet til at være løsning 4. Løsning 4 består af to robotter, der står for flytningen af hver sin komponent, hele vejen fra pallen, til fiksturet. Her er dog ikke taget højde for, at de færdigsvejste emner skal fjernes fra fiksturet. Hvis denne handling tages med skal der lægges 8 sekunder til den samlede cyklustid per emne.

5.3 Konklusion

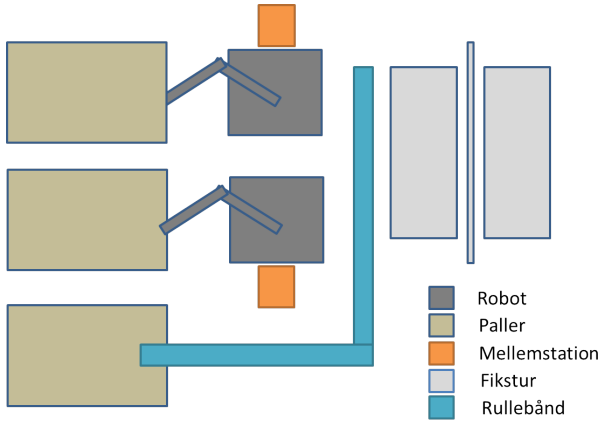
Ud fra den overordnede sammenligning foretaget, vælges der for Gruppe 2 at arbejde videre med løsningsforslag 1, det vil sige den nuværende løsning, da denne vil have de lavest omkostninger og det lavest tidstab bortset fra transportbåndet. Den eneste ændring, der bliver fra den nuværende løsning, bliver derfor implementeringen af et nyt fikstur, der ikke behøver udskiftning.
For Gruppe 3 er der fundet frem til, at den løsning, der vil give den laveste cyklustid for isættelsen af emner, er løsningen, der består af to robotter, der står for både bin-picking samt isættelse af emner i fiksturet. Cyklustiden er fundet til at være 17 sekunder + 8 sekunder til fjernelse af emet fra fiksturet, det vil sige en samlet cyklustid på 25 sekunder. Konceptet for den valgte løsning kan ses på Figur 5.1. For at give en mere konkurrencedygtig cyklustid er der set på muligheder



Figur 5.1: *Det overordnede koncept for den valgte løsning.*

for at reducere denne. En mulighed der er undersøgt er for fiksturet. Som det er i dag foretages der tre handlinger for hvert emne, isættelse af to komponenter samt at fjerne det færdigtsvejste emne.

For at fjerne behovet for at robotterne samler de færdige emner op, er der foreslået udviklet



Figur 5.2: *Løsningsforslaget med indlagt rullebånd til at føre de færdigsvejse emner væk.*

en løsning, der automatisk fjerner emnerne. Dette kan eventuelt gøres ved at de færdige emner skubbes fri af fiksturet på en gang. En metode der har været diskuteret med LT Automation under brainstormen, er at udstyre fiksturet med pneumatiske stifter, der skubber emnerne fri, og da drejebordet er i stand til at rotere fiksturet, kan fiksturet eventuelt roteres således, at emner skubbes fri og falder ned på et rullebånd, der fører dem væk fra arbejdsområdet.

Et overblik over den eventuelle pracering af dette rullebånd kan ses på Figur 5.2. En mere grundig løsning vil ikke blive gennemgået her, men der vil forsøges at tage højde for denne løsning i den økonomiske analyse.

Kapitel 6

Økonomisk analyse

Der er fundet frem til et løsningkoncept ud fra de løsningsmuligheder, der er opstillet. Næste skridt er bestemme hvorvidt løsningen er økonomisk rentabel. For at kunne gøre dette er det nødvendigt at kende to ting, de nuværende årlige omkostninger, samt produktionskapaciteten. Med hensyn til produktionskapaciteten henvises der til de tal, der er fundet i Kapitel 2. Der er her fundet frem til, at den nuværende celle har en cyklustid som vist på Tabel 6.1. Hvis

	MultiGrip	SP1	Mellemled SP2
Cyktid	00:00:09	00:00:08	00:00:11

Tabel 6.1: *Cyklustid for alle tre emnetyper.*

dette sammenlignes med cyklustiden for den fundne løsning, ses det at implementeringen af et bin-picking system vil reducere produktiviteten md 50%.

$$\frac{8sekunder}{17sekunder} \cdot 100 \approx 50\% \tag{6.1}$$

Dette betyder, at hvis det skal sikres at den automatiserede løsning skal opretholde et produktionsnivau tilsvarende det der produceres i dag, er det nødvendigt at køre mindst to skift om dagen. Næste skridt er at se på selve omkostningerne. De nuværende omkostninger for svejserobo-

2 stk. robotter med bin-picking hardware og software	400.000kr
Samleånd til svejste emner	100.000kr
Fikstur + pneumatisk udstødersystem	100.000kr
Konsulenthonorar	25%
	750.000kr
Installation og programmering	175.000kr
Samlet	925.000kr

Tabel 6.2: *Samlet pris for anskaffelse af løsning. De forskellige skøn på priserne er funet i samarbejde med Lasse Thomsen fra LT Automation A/S.*

tcellen består mere eller mindre udelukkende af lønnen til den medarbejder, der betjerner cellen. Den årlige løn til produktionsmedarbejder fastsættes til 375.000kr, forudsat kun arbejdes i ét 8 timers skift om dagen. På Tabel 6.2 ses en prisliste over alle komponenter der skal anskaffes. Priserne på komponenterne er angivet i kostpriser fra leverandørerne og der er pålagt et honorar på 25% for virksomheden, der skal færdigudvikle løsningen. Der er derudover indlagt prisen for

installation og programmering af system, hvor der er afsat 350 timer. Det forventes at Den nuværende sejserobot, drejebordet samt sikkerhedshegn kan genbruges.

Med en samlet anskaffelsespris på 925.000kr og en årlig omkostningsreduktion på 375.000kr, ses det at den forventede tilbagebetalingstid forventes at være 2,5 år.

Kapitel 7

Konklusion og Videre arbejde

Der er i rapporten lavet en undersøgelse af den nuværende produktion for svejserobotcellen hos Ergonomic Solutions, hvor der er fundet produktionstider for cellen samt hvor der umiddelbart er plads til forbedring.
For det første er der fundet, at cyklustiden for emnerne ligger mellem 8 og 11 sekunder, der er ligeledes fundet frem til, at ved at øge den egentlige produktion fra 7 timer, som det er i dag, er det muligt at øge produktionen med 12,5%´. Som det sidste er der fundet frem til, at selve svejserobotten har en reel oppetid på mellem 33 og 53%, alt efter hvilket emne, der køres i cellen.
Under arbejdet med opgaven i praktikforløbet, foretog FANUC Robotics en test for at undersøge om deres bin-pickingsystem var i stand til at håndtere alle de emner, der bliver håndteret i cellen. I forbindelse med det, er der lavet en general undersøgelse af hvad bin-picking er. Der blev opstillet en række løsnignsforslag, der blev vurderet ud fra to perspektiver, tid og omkostninger. Ud fra disse blev der fundet en løsning for hvilken, der blev opstillet et budget. Der har i dette projekt kun været fokus på to overordnede spørgsmål; hvorvidt en bin picking løsning vil være i stand til at arbejde med samme hastighed som den eksisterende løsning, samt hvorvidt en løsning vil være økonomisk fornuftig.
Der er kommet frem til, at den bedst mulige løsning ud fra de løsningsmuligheder der er, vil have en cyklustid per emne på 17 sekunder, mod en gennemsnitlig cyklustid for den eksisterende løsning på 9 sekunder. Dette medfører at for at bin-picking løsningen kan følge med, vil den skulle køre to fulde skift for at nå samme produktion som den nuværende løsning.
Med hensyn til prisen er der kommet frem til, at den samlede pris for en bin-picking løsning kommer til at ligge på omkring 925.000kr. Dette sammenlignet med de nuværende produktionsomkostninger, der sættes til at være omkring 375.000kr, giver en tilbagebetalingstid på ca. 2,5 år.
Det skal nævnes at priserne for bin-picking løsningen, der er benyttet her er et oerslag på hvad en løsning enten fra Scape Technologies eller FANUC Robotics vil koste.

Hvis der vælges at gå videre med løsningen er der en række ting, der skal nærmere undersøges. Under forsøget hos FANUC Robotics, blev det fastslået, at deres løsning kun vil være i stand til at håndtere to ud af tre forskellige emner og der skal derfor enten findes en anden producent, eller laves en løsning såldes det sidste emne også kan håndteres i cellen. Der har været forsøgt rettet henvendelse til Scape Technologies mht. at deltage i projektet for at bestemme om

deres system vil være i stand til at håndtere alle emner, men der blev aldrig modtaget noget svar. Dette kan nok til dels forklares ved, at det har vist sig, at de i forvejen har haft et samarbejde kørende med en anden virksomhed DanRobotics, der har arbejdet på at løse opgaven for Ergonomic Solutions.
For når der skal findes en specifik bin-picking løsning til opgaven er der på baggrund af undersøgelsen af den nuværende produktion samt samtaler med produktionschefen for Ergonomic Solitions lavet en liste over de krav, som der ønskes en færdig løsning skal kunne overholde.

- Skal kunne håndtere alle emner
- Bin-picking operationen skal kunne justere dynamisk for emnernes højdevariation i pallen.
- Løsningen skal kunne fungere uden operatør og kunne køre kontinuerligt for ét type emne ad gangen, ikke indbefattet omskift til anden produktion.
- Der skal kunne pickes fra standart EUR-paller med op til 3 rammer i dybden. Dimensioner 1200 x 800 mm. Samt EUR-halvpaller med dimensionerne 800 x 600 mm.
- Alle "kødben" er i kvartpaller med 2500 emner i pallen. Håndtagene til MultiGrip ankommer til fabrikken på aluminiumsrør med 120 emner per rør.
- Robotten må efterlade op til 10

Ud over disse krav er det også nødvendigt at arbejde videre med rullebåndet til at føre de færdigt svejste emner væk samt fremstillingen af det nye fikstur. Med hensyn til fiksturet så vil det være nødvendigt at fremstille et nyt til at håndtere det nye system. Da Ergonomic Solutions selv har fremstillet det nuværende, forventes det at de selv vil være i stand til ut udvikle et nyt. dertte skal dog designes samt systemet med udstøderstifte skal designes.

Alt i alt konkluderes det at den at den fundne løsning er acceptabel, forudsat det er muligt at gøre den uafhængig af en fasttilknyttet medarbejder og at Ergonomic Solutions kan leve med en tilbagebetalingstid på 2,5 år.

Litteratur

[1] Nenad Drvar Stjepan Jecic. The assesment of structured light and laser scanning methods in 3d shape measurements. Technical report, 4th International Congress of Croatian Society of Mechanics, 2003.

[2] Paul F. Whelan Ovidiu Ghita. A bin picking system based on depth from defocus. Technical report, Machine Vision and Applications, 2003.

[3] Dirk Holz JÃ¶rg StÃ¼ckler Alexander Berner Jun Li Reinhard Klein Sven Behnke Matthias Nieuwenhuisen, David Droeschel. Mobile bin picking with an andromorphic service robot. Technical report, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2013.

Appendiks A

Generel beskrivelse af bin-picking teknologi

Konceptet bin-picking er opstået som svar på en central problemstilling i industrien: Hvordan reduceres produktionsomkostningerne?
Den dyreste udgiftspost er oftest lønninger til medarbejdere. Af denne grund har det derfor traditionelt været stedet, der har været gjort mest for at reducere omkostninger. Det har medført, at det i dag er muligt at automatisere en stor del af processerne i industrien.
Indtil nu har der dog været et alvorligt problem med at automatisere processer, da maskiner og robotter ikke har den fleksibilitet som et menneske har. For at kunne automatisere en proces har det været nødvendigt at kende den præcise position af et emne for blandt andet at sikre at en robot vil være i stand til at samle emnet op.
Denne problemstilling er hovedårsagen til at en lang række mere specialiserede opgaver stadigvæk håndteres af mennesker. Det er af samme årsag en af de områder der er gjort mest for finde en løsning på.
En mulig løsning på problemstillingen er bin-picking. Princippet i bin-picking er i korte træk at kunne samle et mere eller mindre uorganiseret placeret emne op ved hjælp af en robot.

A.0.1 Hvordan er en bin-picking løsning opbygget?

En bin-picking løsning er opdelt i fire hovedopgaver.

- Dataopsamling
- Emnegenkendelse
- Udvælgelse af emne til pick
- Opsamling af emne.

Idéen er at ved hjælp af en eller anden form for sensor, enten scanne eller tage et billede af emnet for at bestemme dets position. Dernæst benyttes software til at omdanne dataen fra sensorerne til et udtryk for emnets position og orientering. Tredje skridt er at udvælge et emne til at blive samlet op, da der som regel er flere mulige emner at løfte. Sidste skridt er selve opsamlingen af

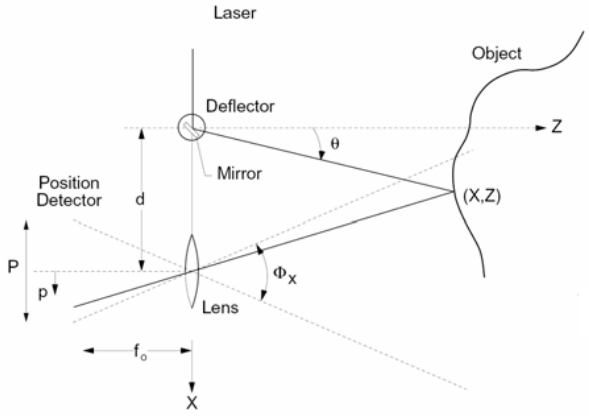
emnet samt replacering. De fire hovedopgaver er den teoretiske beskrivelse hvordan bin-picking fungerer.
Rent fysisk er et bin-picking system opbygget af tre elementer: sensor, robot samt computer. Denne sammensætning er ens for alle systemer, der kan dog være forskel på sensortypen eller robottypen. Sensortypen samt blandt andet antallet af frihedsgrader på robotten kan have en idflydelse på systemets opbygning, men den afgørende forskel på de forskellige løsninger der eksisterer, er hvordan opgaven med emnegenkendelse løses.

Der vil følgende gives en nærmere beskrivelse af de enkelte opgaver, samt eksempler på hvordan de har været forsøgt løst.

A.0.1.1 Dataopsamling

Der er gennem tiden benyttet mange metoder til at opsamle data. Herunder blandt andet laser scanning, dybde fra defokusering med et enkelt stationært kamera, punkttriangulering med et enkelt mobilt kamera eller to stationære kamera.
De forskellige dataopsamlingsmetoder kan generelt opdeles i to kategorier, aktive og passive. De aktive er metoder som laser scanning mens et passivt system er et som punkttriangulering med kameraer.
I et aktivt system har sensoren den aktive rolle i a definere målepunkternes position samt afstand ved at måle hvordan laserstrålen opfører sig og afkode information herfra. I et passivt system derimod opnåes dataen gennem en optisk linse og dataen opnåes ved at genkende forudbestemt geometri i billedet og der flere billeder taget med forskellige vinkler, hvortil der benyttes triangulering for at danne et 3D billede.
Hver metode har sine fordele og ulemper og en generel beskrivelse af hvorledes hver løsning virker vil blive beskrevet her.

Laser scanning
De fleste laser scanning systemer fungerer ved at en eller flere enheder opfanger reflektionerne fra en laserstråle der føres over et emnes overflade. Dette er vist på Figur A.1. I og med denne



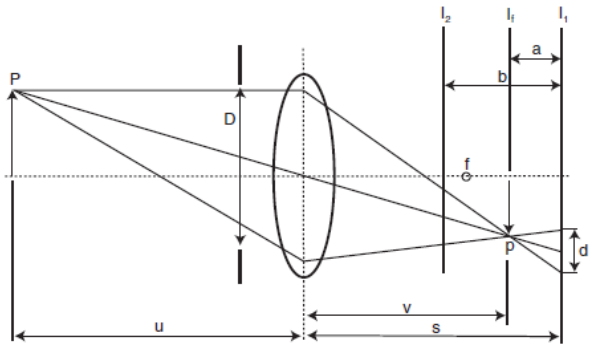
Figur A.1: *(a) Princippet i laserscanning med stationær linse til opfangelse af laser reflektioner.*

metode blot er baseret på målingen af lys og en triangulering mellem laserens ingangsvinkel samt

returvinkel, er der en række faktorer der er med til at øge usikkerheden. Dette gælder blandt andet opsamlingssystemets geometri, indflydelsen af rummets naturlige lys på reflektionen fra laserstrålen, skarpe hjørner og kanter, pludselige ændringer i geometriens der gør at laserstrålen ikke reflekteres indenfor en vinkel opsamlingslinsen er i stand til at nå, støj fra mikro topologien i emnets overflade, samt reflektérbarheden af emners overflade. [1].

Dybde fra defokusering

Den anden metode der vil blive beskrevet her er dybde fra defokusering. Metoden fungerer ved at en afstandssensor bestemmer dybdestrukturen ved hjælp af to billeder taget med forskellig dybdefokus. Mere specifikt sker det ved at måle den relative slørring mellem to fokus settings. En illustration af metodens opsætning kan ses på Figur A.2. Denne billedsegmenteringsproces



Figur A.2: *Dybden bestemmes ud fra nivauet af slørring d i to billeder taget med afstanden b.[2]*

omdanner så inputbilledet til en geometrisk form. Et betydeligt problem for denne metode er at i og med begge billeder tages fra samme punkt, sætter det en grænse topografien af det emne der behandles da det ikke er muligt at genkende overflader der ikke er synlige direkte fra oven.

Punkttriangulering

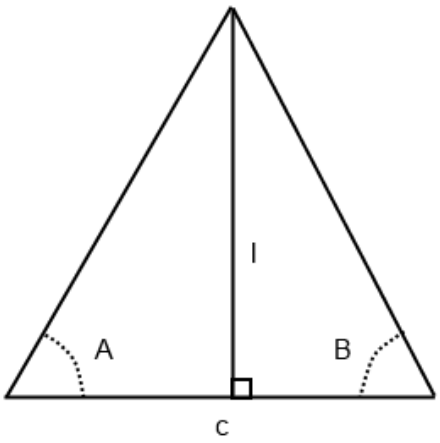
Der tages to billeder af det samme motiv med to forskellige vinkler. De to billeder sammenlignes og ved hjælp af genkendelige sammensætninger af punkter på de to, er det muligt at lave en 3D model af objektivet da det er muligt at beregne forskellige punkters indbyrdes vinkel og afstand så længe vinklen mellem de to billeder er kendt.
Den basale teori bag triangulering kan ses på Figur A.3.

A.0.1.2 Emnegenkendelse

Efter dataen er opnået er næste skridt selve emnegenkendelsen. Det har vist sig over årene at det er denne del af opgaven der skaber flest problemer for at skabe en løsning der er tidsmæssigt fornuftig. Der er to problemer der skal overkommes:

- Store datamængder. For at sikre så stor en præcision som muligt, har det været nødvendigt at have store datamængder.
- Skabe mening i dataen. Det største problem og det der er gjort mest for at gøre lettere.

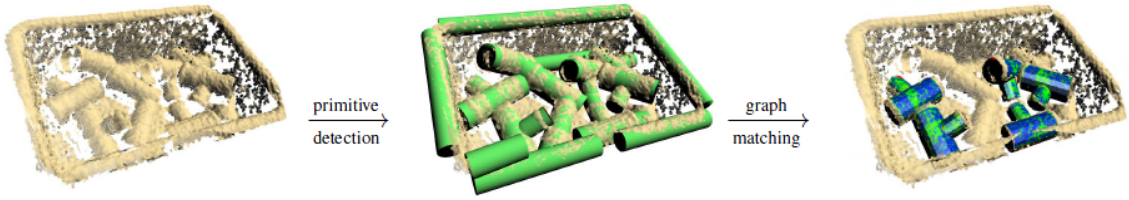
Problemet med mængden af data var et problem før i tiden men med de nye generationer af computere, er det blevet en del lettere at overkomme. Problemet med at skabe mening i dataen



Figur A.3: *Det geometriske koncept bag triangulering*

har været forsøgt løst på mange forskellige måder. Et eksempel fremgangsmetoden er fundet i et forskningspapir kaldet: Mobile Bin Picking with an Andromorphic Service Robot [3]. Der er i denne rapport givet en trin for trin gennemgang af processen for at genkende emner ud fra et datasæt.

„Først laves en hurtig identificering af punkter der kan samles til samlede flader. Dernæst renses datasættet for punkter der ligger udenfor parametrene for de samlede flader. Alle de fundne flader identificeres og isoleres. Herefter sammenlignes hver funden flade med en CAD model af emnet der skal identificeres, dette giver en række emner der er i det mindste partielt sammenlignelige med CAD modellen. Sidste skridt er at tage de bedste af de fundne resultater og lade dem løbe igennem en transformationsmatrice der angiver den estimerede position og orientering af objekterne i datasættet.“ [3]
En illustration af skridtene kan ses på Figur A.4. Dette eksempel er én måde at udføre emne-



Figur A.4: *Input data - identificering af objekter - transformations estimering [3].*

genkendelsen på. Der er andre måder det kan gøres men der gøres stadig meget for at forbedre løsningerne, hvilket blandt andet kan gøres ved at udvikle algoritmer der er bedre til at genkende emner, blandt andet ved at skulle bruge færre punkter.

A.0.1.3 Udvælgelse af emne til pick

Efter de forskellige emner er blevet identificeret, skal det bestemmes hvilken der skal løftes. Ligesom for emnegenkendelsen bliver dette løst på forskellige måder men generelt prioriteres emnet der enten er tættest på robotten eller er lettest for robotten at gribe.

A.0.1.4 Opsamling af emne

Det sidste skridt i bin-picking processen er selve opsamlingen af emnet. For at gøre dette er der en række ting der skal være på plads, hvilke orienteringer ef emnerne det er muligt at gribe dem fra men også hvorvidt det er muligt at gribe emnet uden at lade robotten kollidere med en overflade.

Appendiks B

Beregninger af cyklustider for forskellige robotsammensætninger

Der er i dette appendiks opstillet en række beregninegr for cyklustiderne på forskellige principper for sammensætninger af robotter. Tabel B.1 viser et bud på cyklustiden for et bin-picking system hvor vision kameraet er placeret på robotarmen. Udgangspunktet for dette er taget ud fra SCAPE Technologies system. For at kunne sammenligne tallene findes cyklustiden for indsættelse af begge komponenterne til et emne, for Tabel B.1 giver dette 30 sekunder. Tabel B.2 giver et bud på

(1) Kør fra start til palle	2s
(2) Tag billede og opdatér for emner	4s
(3) Kør ned og grib emne	3s
(4) Løft og før til bånd	2s
(5) Sæt på bånd	2s
(6) Retunér til startposition	2s
Samlet	15 s

Tabel B.1: *Cyklustid for bin-picking robot med visionkamera monteret på robotten.*

det samme princip blot hvor der i stedet for et kamera monteret på robotarmen, er fastmonteret to kameraer over pallen. Der er her taget udgangspunkt i Fanucs 3D-områdesensor. Der tages samme udgangspunkt som for ovenstående eksempel og den samlede cyklustid for et helt emne findes som 22 sekunder. For Tabel B.3 er der taget udgangpunkt i en standard robotopsætning,

(1) Kør fra start til palle	2s
(2) Kør ned og grib emne	3s
(3) Løft og før til bånd	2s
(4) Sæt på bånd	2s
(5) Retunér til startposition	2s
Samlet	11 s

Tabel B.2: *Cyklustid for bin-picking robot med visionsystem fastmonteret over palle.*

hvor en industriel robot flytter et emne fra punkt A til punkt B. Den samlede cyklustid ved at sige et enkelt emne består af to komponenter der flyttes individuelt og findes til at være 24 sekunder.

(1) Flyt til bånd fra startposition	2s
(2) Kør ned og grib emne	3s
(3) Løft og før til fikstur	3s
(4) Placér emne i fikstur	2s
(5) Slip og retunér til startposition	2s
Samlet	12 s

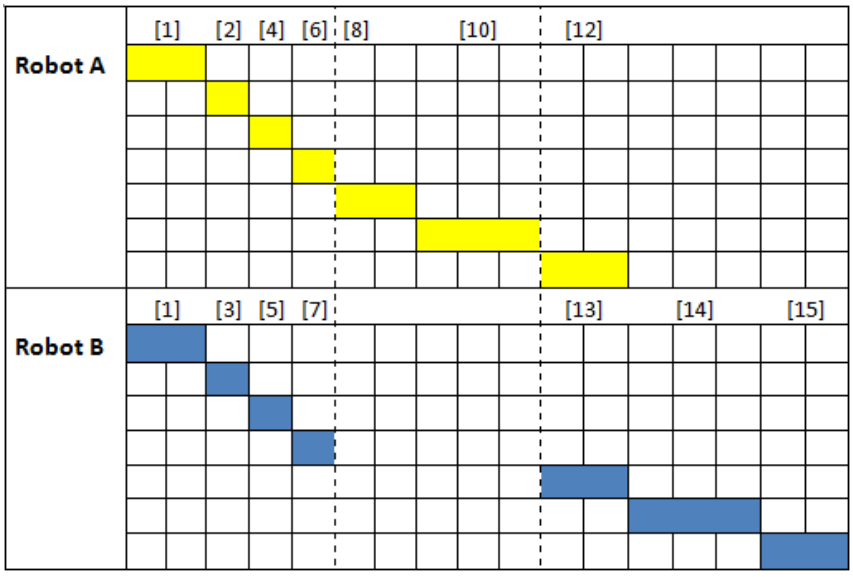
Tabel B.3: *Cyklustid for placering af emne fra mellemstation til fikstur.*

Der er på for de foregående cyklustider forsøgt estimeret for systemer hvor processen med at flytte emnet er delt op i to med en mellemstation. Der er for Tabel B.4 forsøgt estimeret en cyklustid for en robot der står for hele processen med at flytte emnet fra pallen hele vejen til fiksturet. Den samlede cyklustid for denne løsning findes til at være 28 sekunder. Det sidste der

(1) Kør fra startposition til palle	2s
(2) Kør ned og grib emne	3s
(3) Løft og før til mellemstation	3s
(4) Placér emne på mellemstation	2s
(5) Grib emnet således det kan placeres i fiksturet	2s
(6) Løft og før til fikstur	3s
(7) Placér emne i fikstur	2s
(8) Slip emne og retunér til startposition	2s
Samlet	19s

Tabel B.4: *Cyklustid for robot der håndterer både bin-pickingen samt isættelsen af emnet i fiksturet.*

er undersøgt er hvilken effekt det vil have på cyklustiden, hvis der benyttes to robotter til arbejde side om side. De enkelte trin er fundet og der er benyttet et Gant diagram, som set på Figur B.1 til at illustrere hvorledes de to robotter indflyder hinanden i løbet en cyklus. Det ses her at den individuelle cyklustid på 12 sekunder er i værste tilfælde forøget til 17 sekunder.



Figur B.1: *Gantdiagram der illustrerer cyklusen for to robotters fødning af fiksturet.*

Den laveste samlede cyklustid findes på baggrund af de opstillede tabeller.

1. For en løsning med et mellembord og en robot til hver funktion findes den laveste samlede

(1) Kør til samlebånd A og B	2s	
(2) Kør til emne 1 A	1s	
(3) Kør til emne 2 B	1s	
(4) Grib emne 1 A	1s	
(5) Grib emne 2 B	1s	
(6) Løft emne 1 A	1s	
(7) Løft emne 2 B	1s	
(8) Kør til fikstur A	2s	(Hvis i gang med (8) eller (10), hold B.)
(9) Hold position B		(Hvis i gang med (13) eller (14), hold A)
(10) Sæt i fikstur og slip A	3s	
(11) Hold position B		
(12) Retunér til startposition A	2s	
(13) Kør til fikstur B	2s	
(14) Sæt i fikstur og slip B	3s	
(15)Retunér til startposition B	2s	

Tabel B.5: *Forklaring af Gantdiagram der illustrerer cyklus for to robotters fødning af fikstur.*

cyklustid til at være 22 + 24 sekunder = 46 sekunder.

2. For en løsning med et mellembord, to robotter til selve picking delen og en enkelt robot til isættelse in fiksturet findes den lavste samlede cyklustid til at være 11 + 24 sekunder = 35 sekunder.

3. For en løsning med fire robotter, to til hver del findes den laveste mulige cyklustid til at være 11 + 12 sekunder = 23 sekunder.

4. Den sidste løsning der er set på er løsningen uden mellembord hvor to robotter står for hele bevægelsen. For denne løsning findes den laveste mulige cyklustid til at være 17 sekunder.

For disse beregninger er der dog ikke medtaget processen med at fjerne de færdigsvejste emner fra fiksturet. Dette skal gøres uanset hvilken løsning der vælges og der kan kan ses på Tabel B.6, at der skal lægges 8 sekunder til cyklustiden for hvert emne.

(1) Kør til fiksturet fra startposition	2s
(2) Kør ned og grib det færdigsvejste emne	2s
(3) Løft og flyt til pallen for færdige emner	2s
(4) Retuner til startposition	2s
Samlet	8s

Tabel B.6: *Cyklustiden for flytningen af færdigsvejste emner fra fikstur til palle.*