



Multifunktionsrobotter - AP1 Ultrahurtigt værktøjsskift til multifunktionsrobotter

Projektets formål og resultat

Projekts formål

Der eksisterer pt. systemer til skift af værktøj i robotter, men de er ikke tilstrækkeligt hurtige, og de er ikke tilpasset kravene i fødevarerindustrien med hensyn til hygiejne og vaskbarhed. Kapaciteten er en af multifunktionsrobot-konceptets største udfordringer. For at kunne høste de store fleksibilitetsgevinster, som multifunktionsrobotten giver, er det nødvendigt at optimere tidsforbruget ved skift af værktøjer således, at mest mulig tid anvendes på at være i indgreb med grisen eller produktet. Løsningen ligger i at kunne skifte værktøjet, mens robotten bevæger sig fra arbejdssted til arbejdssted. Dermed elimineres tidsspildet, og kapaciteten optimeres. Sådanne "on the fly" værktøjsskiftesystemer findes ikke på markedet i dag.

Formålet med projektet var således at udvikle ultrahurtigt værktøjsskift, hvilket er en central komponent, som er forudsætningen for at få det maksimale udbytte af multifunktionsrobotcelle-konceptet.

Opnåede effekt af projektet

Den afledte effekt af projektet er en betydelig reduktion af enhedsomkostningerne, idet værktøjsskiftet er nøglen til at udnytte multifunktionsrobotcelle-princippet fuldt ud og dermed realisere de potentielle gevinster, der ligger i konceptet.

Projektet forbedrer ligeledes arbejdsmiljøet ved at fjerne ensidigt gentaget arbejde (EGA) og reducerer dermed nedslidning af arbejdsstyrken samt styrker rekrutteringen af nye medarbejdere gennem etablering af mere attraktive arbejdspladser. Projektet forventes ligeledes at reducere sygefraværet i kraft af bedre arbejdsmiljø.

Projektet giver branchen en førerposition indenfor robotautomatisering ved at sikre branchen IPR-rettighederne til denne vitale komponent. Værktøjsskiftet er en nøglekomponent, som i høj grad vil være afgørende for, hvor stort et udbytte, der kan opnås af robotautomatisering.

Projektet understøtter en markant større kapacitetsudnyttelse, som også vil medføre et mindre klimaaftryk ifm. etablering af ny kapacitet ved mindre ressourceforbrug under drift baseret på 24/7 filosofien.

Resultat vs. formål opdelt på bruger, sektor og samfund

Brugeren vil opleve, at målsætningen for projektet er opfyldt ved, at arbejdsmiljøet er blevet forbedret i kraft af, at EGA arbejdet er elimineret. Brugeren vil også opleve, at arbejdspladserne omkring multifunktionsrobotcellerne er mere attraktive end de traditionelle slagteriarbejdspladser, i kraft af ny teknologi og et mere varieret arbejdsindhold. Endelig vil brugeren på længere sigt opleve, at nedslidningen er reduceret betragteligt.

Sektoren vil opleve et markant reduceret omkostningsniveau ved indførelsen af multifunktionsrobotceller - en reduktion, der er muliggjort af værktøjsskiftet. Gennem automatisk værktøjsskift bliver robotcellen i stand til at køre uden nedetid i forbindelse med omstilling, og en produktionsrytme, som nærmer sig 24/7, bliver dermed mulig, hvilket igen betyder en væsentlig bedre kapacitetsudnyttelse, end der opleves i et traditionelt slagteriudstyr.

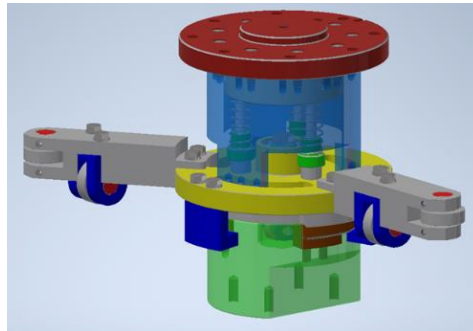
Samfundsmæssigt har projektet opfyldt sin målformulering ved at forbedre arbejdsmiljøet og derigennem mindske nedslidning, hvilket på kort sigt vil reducere sygefravær og de deraf følgende omkostninger. På langt sigt vil forbedringen betyde mindre nedslidning og tidlig tilbagetrækning fra arbejdsmarkedet, hvilket vil have såvel positive økonomiske som sociale konsekvenser for samfundet.

Oplæg til videre arbejde

Det ultrahurtige værktøjsskifte er bragt op til et funktionsmodelniveau. Det vil sige, at det er testet og har dokumenteret, at det kan skifte med hastigheder, der er højere, end hvad en 6-akslet industrirobot i dag kan levere, og kravspecifikationen er dermed opfyldt. Materialerne, som funktionsmodellen er fremstillet i, vil ikke have slidstyrke til at indgå i en daglig drift. Der henstår således et arbejde med at opdatere designet med henblik på slid og vedligehold. Rengøringsvenligheden kan også forbedres gennem indkapsling af enheden eller tilpasning af designet. Endelig er overførsel af kraft udeladt i funktionsmodellen, da det vil være en elektrisk stikforbindelse, som er kommercielt tilgængelig og dermed ikke vurderes at udgøre en usikkerhed for det samlede resultat.

Beskrivelse af løsningen

Beskrivelse af funktionsprincip



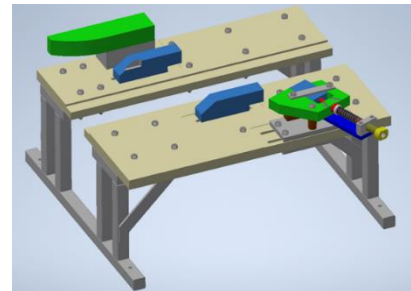
Figur 2 Griber i indgreb med fæste

to arme via en kurvebane, der er monteret på værktøjsmagasinet. Når fæstet er i indgreb med griberen, sikres mekanismen mekanisk vha. et sæt fjedre, som er placeret i centrum af griberen. Når griberen føres gennem værktøjsmagasinet af robotten, vil den centrale låsemekanisme blive udløst af den første kurvebane på værktøjsmagasinet. Herefter vil værktøjet blive afleveret, og griberen vil fortsætte til det næste værktøj, hvor en ny kurvebane udløser låsemekanismen, hvorefter det nye værktøj er fast forankret til robotten og kan fjernes fra værktøjsmagasinet.

Systemet er rent mekanisk og involverer således hverken servokomponenter eller programmer. I den endelige version må det forventes, at det vil være hensigtsmæssigt at kunne overføre kraft til drift af værktøjet. I den forbindelse vil der skulle inkorporeres en elektrisk forbindelse. I forbindelse med udviklingsarbejdet er der fundet forskellige kommercielt tilgængelige stikforbindelser, som vil kunne indarbejdes i designet, og det vurderes ikke, at en stikforbindelse kan være begrænsende for hovedfunktionen, og løsningen er derfor ikke medtaget i funktionsmodellen.

Det ultrahurtige værktøjsskift består af tre hovedkomponenter – **Griber** monteret på robot, **Fæste** monteret på værktøjet og **Værktøjsmagasinet**.

Griberen består af en fast del, som befæstes til robotten og en bevægelig fjederbelastet låsemekanisme, som udløses af



Figur 1 Værktøjsmagasin

Testresultater

Resultat af afsluttende test

Den afsluttende test blev gennemført i en CNC-maskine hos den underleverandør, som har stået for fremstillingen af funktionsmodellen. Ved at bruge en CNC-maskine som fremføring kunne bevægelsen gennemføres med hastigheder, der ligger over, hvad en 6-akslet industrirobot kan levere, og det var dermed muligt at dokumentere, hvor tæt systemet er på sin funktionsgrænse ved de forventede maksimale hastigheder. Testen blev gennemført med to værktøjs-atrappes hver med en masse på 10 kg. Den ene attrap emulerede et værktøj med et symmetrisk placeret massecentrum, mens den anden havde et asymmetrisk placeret massecentrum. Det var forventet, at et asymmetrisk massemidtpunkt kunne

påvirke funktionen negativt ved at tilføre en skævhed, som systemet skal kompensere for. Der blev ikke konstateret nogen effekt af flytningen af massemidtpunktet, og værktøjsskiftet kunne således gennemføres med maksimal hastighed med begge attrapper. Der blev gennemført i alt ca. 10 testkørsler. Testen viste, at den centrale låsemekanisme er den mest sårbare komponent, idet den udsættes for en høj sideværts belastning i skifteøjeblikket. Der skal derfor være særlig opmærksomhed på materialevelg og udførslen af den mekanisme i den endelige version. Testen viste også, at det er vigtigt, at værktøjsmagasinet er fast forankret for at sikre en præcis skiftefunktion.

Afvielser fra oprindelig kravspecifikation

Kravspecifikationen, som projektet har forfulgt, opsatte succeskriteriet, som et værktøjsskift, der ikke forøger procestiden. Denne specifikation er opfyldt med den udviklede skiftemekanisme.

Projekthistorik

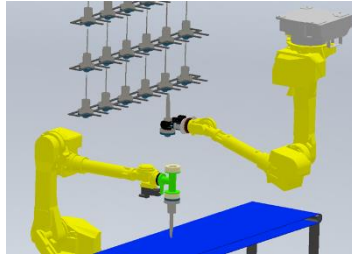
Projektets historie opdelt efter innovationsmodelens faser og med tidslinje

Projektet har gennemløbet analyse-, ide-, metode- og funktionsmodelfase på de to år, som løsningen har været under udvikling.

I analysefasen blev kriterierne for et værktøjsskift fastlagt, og markedet blev afsøgt for kommercielt tilgængelige løsninger. Hastigheden er selvfølgelig essentiel og blev defineret ud fra, at et skift skal kunne gennemføres uden at forlænge procestiden. Det blev igen kvantificeret som et kontinuum rækkende fra optimalt set at kunne skifte med fuld hastighed og til, at det ville være acceptabelt med en skiftetid på op til 1 sekunds holdetid. Det blev besluttet, at krafttilførsel ikke var et krav, men at muligheden for elektrisk kraftoverførsel skulle tilstræbes. Mekanisk set var kravene, at systemet kan monteres på alle typer 6 akslede robotter, at det kan serviceres af lokale håndværkere og at det kan rengøres. Funktionslevetiden blev ikke defineret, da projektets mål var at sandsynliggøre, at funktionen kan etableres. En egentlig Cost/benefit er ikke opstillet, da komponenten er en forudsætning for at udnytte multifunktionsrobotkonceptet fuldt ud, og som sådan kan der ikke udfærdiges en separat kalkule for netop denne komponent. Som kriterie for vurderingen af løsningerne blev der taget udgangspunkt i, at uden værktøjsskift vil der være behov for flere robotter, så prisen for en robot var grænsen for systemets pris. Denne antagelse giver ikke praktisk mening, da der oftest ikke vil være plads til en ekstra robot, men den fungerede som en ramme for idéarbejdet. Det bør nævnes, at der blev ikke behov for at udfordre denne ramme, og derfor er der ikke gjort yderligere ud af den økonomiske kravspecifikation.

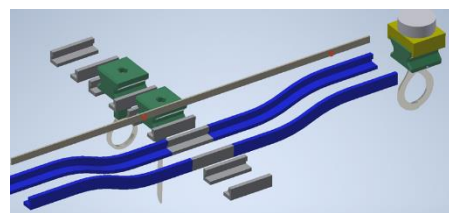
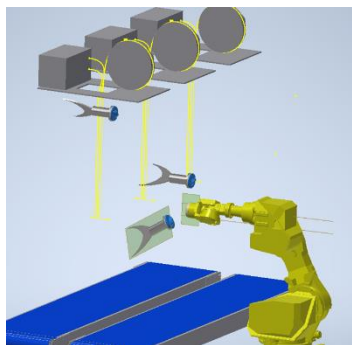
I idéfasen blev der gennemført to idégenereringer. Den første var en åben session, hvor alle bragte idéer frem. Disse idéer blev grupperet, og der blev nedsat tre grupper, som arbejdede videre med hver deres tema,

inden den anden session blev afviklet, som var en pitch af idéer med efterfølgende udvælgelse af det tema, der skulle videre til metodearbejdet. Idéudviklingen centrerede sig hurtigt omkring en række temaer. Et af temaerne var værktøjsmagasinet position, herunder om det skulle være bevægeligt, hvilket affødte flere forskellige idéer om værktøjsmagasiner placeret på robotter, på servoakser og lign. Valget faldt på et stationært magasin, da en simulering viste, at det bevægelige magasin faktisk ikke



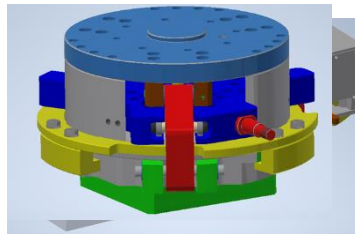
bidrog med reduceret skiftetid, men i nogle tilfælde faktisk kunne forlænge den. Et andet tema var krafttilførsel, hvor der var forskellige løs-

ninger. I slutningen af ideudviklingen blev der valgt et centralt tema, nemlig skiftemekanismen, som blev udviklet gennem en række iterationer.



ningsscenarier både baseret på kraftkoblinger og på fastmonteret krafttilførsel til værktøjet. Endelig var selve skiftemekanismen et centralt tema i ideudviklingen, hvor valget til sidst faldt på en simpel kurvestyret mekanisk løsning.

I metodefasen blev den kurvesyrede mekanisme udviklet gennem en



række iterationer, fra en mekanisme, som var baseret på, at alle bevægelser var lineære til, at den centrale låsebevægelse skulle foregå som en rotation for at mindske de dynamiske påvirkninger på mekanismen i skifteøjeblikket.

Der blev gennemført flere metodestudier, hvor 3D printede modeller blev evalueret og skrivebordstestet. Gennem løbende design reviews blev konstruktionen ændret og forenklet, indtil det design, som foreligger i dag.

Funktionsmodelfasen bestod i alt væsentligt i at fremstille en metalversion, som havde tilstrækkelig mekanisk robusthed til at kunne teste hastigheden. Denne version var færdig medio december 2021, og projektet kunne afslutte test med tilfredsstillende resultat med udgangen af 2021.

Økonomi

Projektrejskab med noter
Se separat regnskab.

Konklusion

Projektet er lykkedes med at udvikle et værktøjsskift, som er så hurtigt, at det ikke påvirker procestiden og dermed opfylder kravspecifikationen. Løsningen er en forudsætning for at udnytte multifunktionsrobot-konceptet, og løsningen er således en central komponent i forhold til at opnå de væsentlige økonomiske og kapacitetsmæssige gevinster, som konceptet åbner for. Udviklingsforløbet har været succesfuldt både set ud fra resultatet og processen. Sidstnævnte har været præget af en systematisk innovativ tilgang, hvor design reviews med deltagelse af mange ekspertiser og hyppige iterationer har bidraget til et højt udviklingstempo.