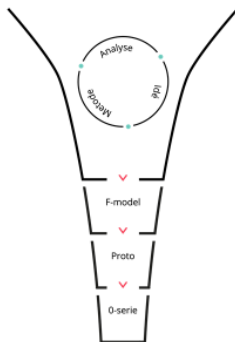




Multifunktionsrobotter for fjernelse af hoveder

Projektets formål og resultat	
<i>Projekts formål</i>	Målet med projektet var at reducere enhedsomkostningerne, skabe grundlaget for at udnytte digitale løsninger, forbedre arbejdsmiljøet, styrke rekrutteringen og ruste slagteribranchen til en ny markedssituation, hvor kundetilpassede produkter er et nøgleord. Projektet har udviklet en funktionsmodel, hvor det halve hoved kan skæres af en slagtekrop ved hjælp af en hovedholder og et robotværktøj monteret på en industrirobot.
<i>Opnåede effekt af projektet</i>	Afskæring af halve hoveder er et belastende arbejde for operatøren på en opskæringslinje. Operatøren bruger håndkniv til processen, og der kræves stor rutine for at ramme det rigtige sted med kniven, således at genikket (halsledet) åbnes en lille smule, så knivspidsen kan sættes ind, og afskæringen kan foretages. Det er belastende arbejde for hænder, arme og skuldre. I projektet er der udviklet et modul, der kan fjerne hovedet fra en slagtekrop. Modulet kan erstatte den eksisterende opskæring og levere en platform, som nye automatiseringsløsninger kan bygges på.
<i>Resultat vs. formål opdelt på bruger, sektor og samfund</i>	Den enkelte operatør på slagteriet vil få et forbedret arbejdsliv gennem et mindre fysisk belastende arbejde. En væsentligt højere automatiseringsgrad i industrien vil eliminere det hårde fysiske arbejde og erstatte den med overvågningsarbejde og kvalitetskontrol. På længere sigt vil samfundet få reducerede udgifter til sundhedssektoren og sygefravær.
<i>Oplæg til videre arbejde</i>	I samarbejde med slagterierne er der mulighed for, at en række afledte effekter ved omstillingen til en fuldautomatisk produktion kan vise reduktionen af enhedsomkostningerne. De afledte effekter kan være besparelser på oplæring af operatører, besparelser på mandskabsfaciliteter og areal til disse faciliteter.

	De udviklede algoritmer er generiske og kan bruges i fremtidige projekter. Applikationen at fjerne hovedet fra en slagtekrop er patentanmeldt.
Beskrivelse af løsningen	
<i>Beskrivelse af funktionsprincip</i>	Fjernelse af hoved, eller mere forklarende afskæring af det halve hoved, starter med, at to halve grise på et transportbånd, med et passende mellemrum imellem venstre og højre halvdel, kører ind i cellen, hvor processen skal foregå. Når de to slagtekroppe ligger i cellen, køres en hovedholder til hver halvdel i position vandret og fastlåser trynen. Der tages et billede af det flækkede hoved, og der genereres en skærekurve, som robotten eksekverer. Kniven skærer indtil genikket, værktøjet sænkes og genikket klippes. Robotten løfter værktøjet op og begynder at skære rundt om kæben samtidigt med, at hovedholderen drejer rundt. Kniven fortsætter ned mod trynen uden at skære i hovedholderen. Når hovedholderen åbner låsen, falder hovedet ned på et sekundært transportbånd, som kan transportere det ud af cellen.
<i>Beskrivelse af mekaniske delsystemer</i>	Robotværktøjet består af to delværktøjer. Det første er en elektrisk motor, som trækker en skærende kniv i en oscillerende bevægelse, og det andet er en saks, som drives af en luftcylinder, der åbner og lukker saksen. Værktøjet er monteret i flangen på en industrirobot.
<i>Beskrivelse af elektriske delsystemer</i>	Der bruges to 3D kameraer af typen Microsoft Azure Kinect, der producerer et RGB-billede og et tilhørende dybdekort vha. IR-stråling ved en frekvens på 30, 15 eller 5 Hz. Opløsningen i RGB-billedet er 1080x1920 pixels, mens dybdekortet har en præcision på ca. et par millimeter afhængig af refleksionsevnen af IR-strålingen på emnet. Integration af kameraer og robot sker på en stationær PC, som er udstyret med to store grafikkort samt en kraftig processor, som driver både kameraer og en række deep learning algoritmer samt robotstyrings- og visualiserings-software. Robotten er af mærket Fanuc og har en payload på 70 kg. Den maksimale hastighed ved robotflangen er 4 m/s afhængig af, hvilke led på robotten, der bruges under bevægelsen.
<i>Beskrivelse af software</i>	For hver gris findes en unik værktøjsrute til afskæring af hovedet vha. en vision-algoritme. Værktøjsruten defineres ved at identificere 3 nøglepunkter på hhv. kraniekanten, genikket og kæben på et RGB-billede af hovedet taget med et kamera, der sidder ca. 1.2 m over transportbåndet. Efter at punkterne er identificerede, bruges kameraets interne kalibrationsparametre samt dybdekortet til at få 3D koordinaterne (x,y,z). Efterfølgende transformeres koordinaterne til robotens koordinatsystem og bruges som referencepunkter til at definere skærekurven. Når skærelinjerne er beregnet, kommunikerer disse til robotten, som eksekverer en fast

	sekvens givet ved skærekurven, hvorefter den returnerer til sin hjemme-position, klar til næste slagtekrop. Kommunikation mellem kameraer og robot, samt eksekvering af algoritmer, sker på den stationære PC via robotstyringssoftwaren ROS (Robot Operating System).																												
Testresultater																													
Resultat af afsluttende test	Den opnåede kvalitet er baseret på en test, hvor alle parametre er fastlåst over 3 dage, i alt 80 grise: • 20 grise (7. okt. 2021) • 30 grise (11. okt. 2021) • 30 grise (14. okt. 2021) Teamet har arbejdet efter succeskriterierne: • Hoved af >90% • Øre- kæbeskade < 5% Resultat: <table><tr><th>Hoved af</th><th>Skade øre</th><th>Skade kæbe</th><th>Efterladt nakke kød [mm]</th></tr><tr><td>>90 %</td><td>< 5 %</td><td>< 5%</td><td>-</td></tr><tr><td>97.5%</td><td>2.5%</td><td>0%</td><td>11.2 (+/-4.6)</td></tr></table>	Hoved af	Skade øre	Skade kæbe	Efterladt nakke kød [mm]	>90 %	< 5 %	< 5%	-	97.5%	2.5%	0%	11.2 (+/-4.6)																
Hoved af	Skade øre	Skade kæbe	Efterladt nakke kød [mm]																										
>90 %	< 5 %	< 5%	-																										
97.5%	2.5%	0%	11.2 (+/-4.6)																										
Afvielser fra oprindelig kravspecifikation	Ingen afvielser																												
Projekthistorik																													
Projektets historie opdelt efter innovationsmodellens faser og med tidslinje	Tidslinje med aktiviteter og leverancer fra januar til december 2021 Projektmål: Fjerne hoveder fra slagtekroppe – ekstra proces i multifunktionsrobotcellen <table><tr><th>Faser</th><th>Periode</th><th>Aktiviteter</th><th>Leverancer</th></tr><tr><td>Analyse</td><td>Jan. og feb. 2021</td><td> • Afdækning af behov • Beregning af potentialet/benefit • Kravspecifikation • Afdækning af patentforhold </td><td> • Analyserapport • Kravspecifikation </td></tr><tr><td>Ide</td><td>Feb. 2021</td><td> • Idégenerering • Patentering af ideer </td><td> • Idérapport • Indlevering af patentansøgning </td></tr><tr><td>Metode</td><td>Marts til juni 2021</td><td> • Værktøjsudvikling • Analyse af data (RGB og 3D billeder) • Detektion af keypoints - algoritmeudvikling • Udvikling af robotbaner • Testarbejde </td><td> • Mekanisk metodeværktøj til afskæring af halve hoveder • Algoritmer • Robotbaner • Metoderapport </td></tr><tr><td>F-model</td><td>Juli til dec. 2021</td><td> • Videreudvikling af værktøjer, robotbaner og algoritmer • Testarbejde • Dokumentation af kvalitet • Kommerciel samarbejdspartner </td><td> • Mekanisk funktionsmodelværktøj til afskæring af halve hoveder • Algoritmer • Robotbaner • F-modelrapport • Samarbejdsaftale med partner </td></tr><tr><td>Proto</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>0-serie</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Faser	Periode	Aktiviteter	Leverancer	Analyse	Jan. og feb. 2021	• Afdækning af behov • Beregning af potentialet/benefit • Kravspecifikation • Afdækning af patentforhold	• Analyserapport • Kravspecifikation	Ide	Feb. 2021	• Idégenerering • Patentering af ideer	• Idérapport • Indlevering af patentansøgning	Metode	Marts til juni 2021	• Værktøjsudvikling • Analyse af data (RGB og 3D billeder) • Detektion af keypoints - algoritmeudvikling • Udvikling af robotbaner • Testarbejde	• Mekanisk metodeværktøj til afskæring af halve hoveder • Algoritmer • Robotbaner • Metoderapport	F-model	Juli til dec. 2021	• Videreudvikling af værktøjer, robotbaner og algoritmer • Testarbejde • Dokumentation af kvalitet • Kommerciel samarbejdspartner	• Mekanisk funktionsmodelværktøj til afskæring af halve hoveder • Algoritmer • Robotbaner • F-modelrapport • Samarbejdsaftale med partner	Proto				0-serie			
Faser	Periode	Aktiviteter	Leverancer																										
Analyse	Jan. og feb. 2021	• Afdækning af behov • Beregning af potentialet/benefit • Kravspecifikation • Afdækning af patentforhold	• Analyserapport • Kravspecifikation																										
Ide	Feb. 2021	• Idégenerering • Patentering af ideer	• Idérapport • Indlevering af patentansøgning																										
Metode	Marts til juni 2021	• Værktøjsudvikling • Analyse af data (RGB og 3D billeder) • Detektion af keypoints - algoritmeudvikling • Udvikling af robotbaner • Testarbejde	• Mekanisk metodeværktøj til afskæring af halve hoveder • Algoritmer • Robotbaner • Metoderapport																										
F-model	Juli til dec. 2021	• Videreudvikling af værktøjer, robotbaner og algoritmer • Testarbejde • Dokumentation af kvalitet • Kommerciel samarbejdspartner	• Mekanisk funktionsmodelværktøj til afskæring af halve hoveder • Algoritmer • Robotbaner • F-modelrapport • Samarbejdsaftale med partner																										
Proto																													
0-serie																													
Økonomi																													
Projektregnskab med noter	Se generel projektregnskab rapport																												

Konklusion

I robotcellen er det lykkedes at udvikle en skærekurve, så det halve hoved kan skæres af i venstre side på ca. 6 sekunder.

Skærekurven er fremkommet ved optimering primært i forhold til kvalitet (hoved af, ingen skader på øre og kæbe), og sekundært ved optimering i forhold til udbytter på nakke og kæbesnitte. Det vurderes, at yderligere udbyttegevinster kan opnås, men at det kræver væsentligt mere testarbejde og er uden for scope af indeværende projekt.

Resultat:

Hoved af	Skade øre	Skade kæbe	Efterladt nakke kød [mm]
97.5%	2.5%	0%	11.2 (+/-4.6)

Projektteamet har under udviklingen af funktionen observeret flere områder, hvor der kan sættes ind for, at udbyttegevinsten kan blive optimeret. Disse observationer kan blive til stor hjælp, hvis der skal arbejdes videre med udbytte optimering.

Appendix

A1: Oprindelig kravspecifikation

<..\Fagligt\Krav\Kravspecifikation til halvehoveder oprindelig.docx>

A2: CAD dokumentation

Inventor\DMRI\2008799

A3: Dokumentation fra afsluttende test

Se funktionsmaskine rapport

..\Fagligt\Funktionsmaskine\Funktionsmaskinerapport_input_fra_KRGR.docx

A4: Oprindelig tidsplan og realiserede tidsplan

A5: Budget ved projektstart