



Slutrapport

SJOH/MATL/
HALI/JUSS
4. januar 2023

Ny brystflæsklinje - Projekt nr.: 2009607

Projektets formål og resultat

<i>Projektets formål</i>	Projektet har til formål dels at levere en væsentlig arbejdsmiljøforbedring og dels at øge værdiskabelsen betydeligt svarende til mellem 3,5 og 4 mio. DKK. pr. skift/linje, samt at introducere et nyt fleksibelt produktionskoncept.
<i>Opnåede effekt af projektet</i>	Projektet har formået at automatisere processen "tilskæring". Denne automatisering vil fjerne en af de mest belastende og nedslidende opgaver på en brystflæsk-pacelinje. Denne automatisering vil gøre arbejdet mere attraktivt, hvilket er til gavn for rekrutteringen i branchen. Samtidig vil det også øge fleksibiliteten og udbyttet for slagteriet ved at kunne støtte en højere kundetilpasning i form af kundetilrettede tilskæringer af brystflæsket. Den teknologiske opkvalificering af processen bidrager også med en mulighed for digital kontrol, samt sporbarhed overfor kunderne.
<i>Resultat vs. formål opdelt på bruger, sektor og samfund</i>	Projektet har formået at levere en væsentlig arbejdsmiljøforbedring for slagteri-medarbejderne ved at automatisere tilskæringsprocessen. Nogle af de bevægelser, som operatøren foretager, er fx løft af tilskæringsskabelonen og skæring med kniv (her lægges mange kræfter i for at tilskære produktet i første skæring). Branchen vil få gavn af, at den EGA ¹ tunge proces vil kunne fjernes fra pacelinjen, samt at den rigide skabelon er skiftet ud med en digital skabelon, som projekteres ned over brystflæsket via et 3d kamera. Dette gør det muligt at variere skabelonen i størrelse fra kødstykke til kødstykke, hvilket resulterer i, at slagterierne kan superoptimere tilskæringerne af hvert enkelt brystflæsk og dermed øge værdiskabelsen for produktet. Denne teknologi vil også have en samfundsmæssig afsmitning i form af et bedre arbejdsmiljø på slagterierne samt mulighed for at udvikle nye fleksible fabrikker til produktion af bacon.
<i>Oplæg til videre arbejde</i>	Projektet lægger op til, at de gode resultater omkring tilskæringsprocessen skal modnes fra funktionsmodel til prototype-niveau af en maskinbygger og herefter implementeres på de danske slagterier.

¹ Ensidedig gentagende arbejde

Beskrivelse af løsningen

Beskrivelse af funktionsprincip

Fjernelse af sværrester:

For fjernelse af sværrester er der udviklet et værktøj, der monteres på en robot. Værktøjet skal fjerne de sværrester, der er på brystflæsket, efter det har været igennem afsværingsmaskinen. Værktøjet består af en Wizzard kniv (Bettcher Quantum Flex X505) med en diameter på Ø55 [mm] samt en luftcylinder fra Festo (170912 DFM-16-50-P-A-KF), som skubber værktøjet ned mod brystflæsket. I luftcylinderen køres med et lavt tryk på 0,5 bar, så luftcylinderen giver Wizzard kniven en fjedringseffekt, der kompenserer for den ujævne overflade på brystflæsket.

I midten af Wizzard kniven er der udviklet et afstandsland, som er justerbart i forhold til kniven. Dette sikrer, at der ikke bliver fjernet for meget af hovedproduktet.



Figur 1: Værktøjet til fjernelse af sværrest

Her ses værktøjet i test. Robotten er styret af "Click vision", dvs. der bliver valgt to punkter på brystflæsket, hvorefter robotten bevæger sig i en lige linje mellem de to punkter.

Tilskæring:

Udførelsen af tilskæringsprocessen kan opdeles i to dele.

- Først fotograferes brystflæsket. Dette foto benytter AI system til at lokalisere biprodukternes placering og efterfølgende beregne robotens bevægebane.

- Den anden del er selve tilskæringen. Værktøjet løfter brystflæsket minimalt fra conveyorbåndet, hvorefter det tilskæres. Biproduktet bliver efterfølgende grebet af værktøjets passive griber og ført til den specifikke biproduktsplacering.

Trimning:

Til trimning af fedt er der udviklet et håndværktøj. Værktøjet består af en Wizzard kniv (Bettcher Quantum Flex X1300) med en diameter på 112,5mm. Derudover består værktøjet af et trækjul, hvis funktion er at drive det trimmede fedt væk fra Wizzard kniven. Afstanden mellem hjulet og Wizzard kniven kan justeres, hvilket afgør tykkelsen på det trimmede fedt. Hjulet er drevet af en skrue-maskine gennem et tandrem.

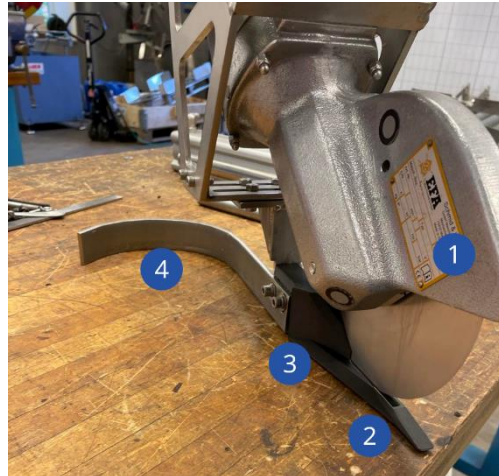


Figur 2 værktøjet til trimning af fedt

Her ses værktøjet i aktion på et stationært stykke brystflæsk, som har været igennem de forudgående processer (fjernelse af sværrester og tilskæring).

Beskrivelse af mekaniske delsystemer

Værktøjets samlede funktionalitet kan nedbrydes i fire delelementer.



- 1) Værktøjets skærende funktion bliver leveret af en EFA Zerlegesage.
- 2) For at sikre, at klingen kun skærer i kødet og ikke i underlaget har vi designet værktøjet således, at det kiler sig ind under kødet ved kontakt og derved løfter kødet en smule væk fra underlaget.
- 3) Efter at kødet er skåret, føres biproduktet væk fra værktøjet.
- 4) Værktøjets passive griber transporterer biproduktet videre til den korrekte placering.

Beskrivelse af elektriske delsystemer

Der bruges et 3D kamera af typen Microsoft Azure Kinect, der ved en frekvens på 30, 15 eller 5 Hz producerer et RGB-billede og et tilhørende dybdekort vha. IR-stråling. Opløsningen i RGB-billedet er 1080x1920 pixels, mens dybdekortet har en præcision på ca. 2 mm afhængig af refleksionsevnen af IR-strålingen på emnet.

Integration af kamera og robot sker på en stationær PC, som er udstyret med et stort 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 25 kg. Den maksimale hastighed ved robotflangen er 4 m/s afhængig af, hvilke led på robotten, der bruges under bevægelsen.

Beskrivelse af software

For hvert stykke brystflæsk findes en unik værktøjsrute til afskæring af bugstrimmel vha. en visionalgoritme. Værktøjsruten defineres ved at identificere 10 nøglepunkter langs overgangen fra bugstrimmel til selve brystflæsket på et RGB-billede 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) for hvert af nøglepunkterne. Efterfølgende transformeres koordinaterne til robotens koordinatsystem og bruges som referencepunkter. Ud fra disse referencepunkter samt specifikationen på det ønskede produkt defineres skærekurver til at afskære bugstrimmel, stegstrimmel og slagende. Når skærekurverne er beregnet, kommunikerer disse til robotten, som eksekverer en fast sekvens, hvor først bugstrimmel,

dernæst stegestrimmel og til sidst slagende afskæres, hvorefter den returnerer til sin hjemmeposition, klar til næste stykke brystflæsk.

Kommunikation mellem kamera og robot, samt eksekvering af algoritmer, sker på den stationære PC via robotstyringssoftwaren ROS (Robot Operating System).

Til fjernelse af sværrester er der udviklet en visionalgoritme, der vha. semantisk segmentering finder områder i RGB-billedet, der med stor sandsynlighed er sværrester. Den semantiske segmentering giver et "heat map", hvor "varme" områder angiver stor sandsynlighed for sværrest. Ved at sætte en tærskel på dette heat map identificeres distinkte afgrænsede områder i billedet som sværrest. Denne tærskel kan justeres op eller ned alt efter om falske positive (fedt identificeres som sværrest) foretrækkes frem for falske negative (sværrest identificeres som fedt). Hvert isolerede område omkranses dernæst af det rektangel, der har mindst areal. Disse rektangler bruges efterfølgende som referencer til at bestemme skærebaser til at fjerne sværresterne.

Testresultater

Resultat af afsluttende test

Den afsluttende test blev udført med en cyklustid på 6 sek. på alle 3 snit. Resultatet af testen var følgende:

- 97% inden for specifikation – godkendt.
- 3% +/- 1 cm fra specifikation – Ikke godkendt.

Under testen opstod der ingen tilfælde, som ville have resulteret i et produktionsstop.

Personale fra værtsslagteriet var til stede under udførelsen af testen. Deres overordnede vurdering er, at kvaliteten af det færdigskårrede kød er meget høj og ensartet.

Afvielser fra oprindelig kravspecifikation

Projektet har fokuseret alt udvikling på tilskæringsprocessen fra Q2, 2022. Dette resulterede i, at processerne "fjernelse af sværrest" og "trimning" har haft et kortere udviklingsforløb.

Projektet antager også, at brystflæsket kommer med den korrekte orientering til processen "tilskæring".

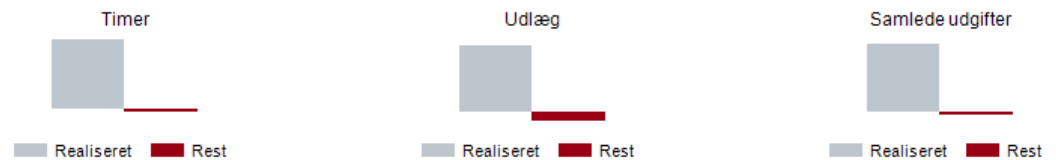
Projekthistorik

Projektets historie opdelt efter innovationsmodellens faser og med tidslinje

Projektet har i 2021 gennemført analyse- og ide-fasen. Ved gennemførelsen af faserne i 2021 blev hhv. en analyserapport og et idekatalog udfærdiget. I 2022 blev metode- og funktionsfasen gennemført. Her blev resultaterne af funktionsmodellen præsenteret for styregruppen og en slutrapport er udfærdiget.

Økonomi

Projektregnskab med noter



Projektøkonomien er forløbet iht. projektplanen.

Projektet har indleveret og fået godkendt en ændringsansøgning i 2022, som baserede sig på beslutningen om at fokusere på at modne processen "tilskæring". Dette resulterede i et øget timeforbrug på forsøg.

Konklusion

Projektet konkluderer, at det var muligt at automatisere processen "tilskæring". Ved implementering vil dette skabe en væsentlig arbejdsmiljøforbedring og værdiskabelse for branchen. Arbejdsmiljøforbedringen vil især komme til udtryk ved den reducerede mængde EGA² på pacelinjen, samt muligheden for at reducere antallet af rokader på linjen.

Der er følgende tre forbedringer:

- Muligheden for at kunne tilskære brystflæskets sider helt parallelt
- Individuelt tilpasset tilskæring
- Automatisk valg af optimeret tilskæring af brystflæsk

Samlet vil disse forbedringer øge de danske slagteriers kvalitet på det globale marked.

Projektet kan også konkludere, at det var muligt at udvikle metodeværktøjer til processerne "trimning" og "fjernelse af sværrest", i en kvalitet, som kunne accepteres af branchen. Det blev også kortlagt, at selve outputtet fra afsværingsmaskinerne kan variere meget i forhold til mængden af resterende sværrester samt trimningsarbejdet. Dette lægger op til, at hvis det ønskes at automatisere processerne "trimning" og "fjernelse af sværrest", så skal afsværingsmaskinen levere et bedre og mere konsistent output.

² Ensidig gentagende arbejde

Appendix

A1: Oprindelig kravspecifikation

Projekt: Ny Brystflæsklinje

Proces:

Brystflæsk 1882 og 1863, kommer ud fra en afsværingsmaskine.

- præsentation (fedtside op)
- Fjernelse af svær rester
Aflevering af biprodukter
- præsentation (kødside op)
hvis bugstrimmel skal skæres
- Tilskæring
Aflevering af biprodukter
- præsentation (fedtside op)
hvis bugstrimmel skal skæres
- Trimning
Aflevering af biprodukter



Potentiale: Alle slagterier

Operatørugift i kr. for en linje/et skift	
3 mand (svær, tilskær, trim)	1.800.000

Mål for projektet:

- Projektet køres som en multifunktionscelle, hvor 1 robot ville kunne udføre operationerne
- Kapacitet på 650 stk/timen
Fordelt på 3 celler.
- Footprint for en celle = 2 m²
- Projektet vil udvikle 3 elektriske værktøjer til at kunne klare alle 3 arbejdsrutiner.
- Projektet vil udvikle autonomt vision, så det vil være muligt at kunne optimere robotternes performance løbende.

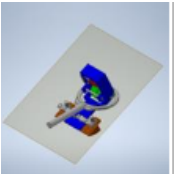
A2: CAD-dokumentation

	Assembly3.iam	21	Mathias Molbeck L...	16-11-2022 08:56	
---	---------------	----	----------------------	------------------	--

Figur 3: tilskæringsværktøj

Thumbnail	File Name	Version	Created By	Checked In	Comment
	HALI-0020672.iam	2	Hussein Ali		

Figur 4: Fjernelse af sværrester

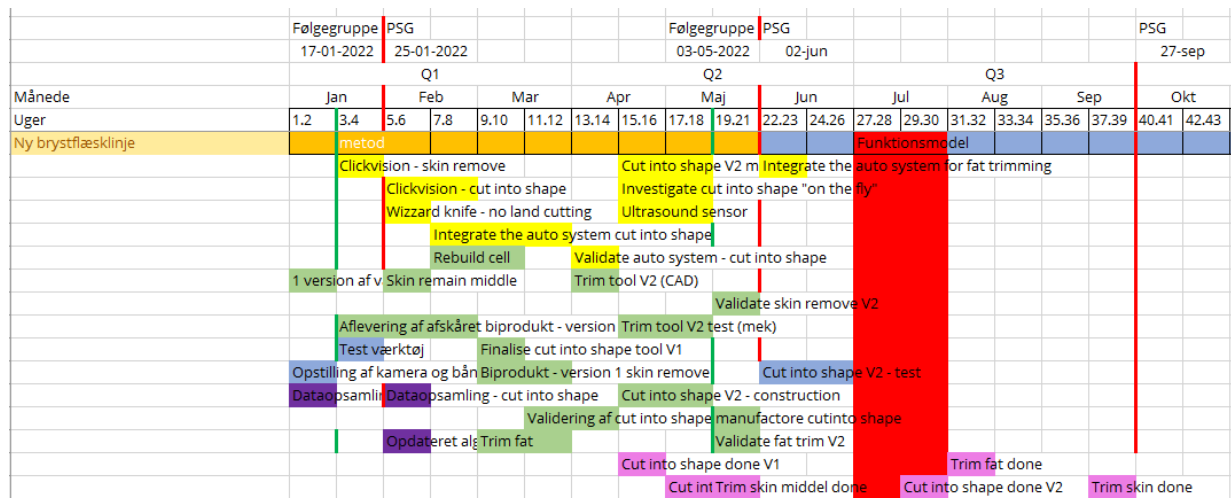
	HALI-0020215.iam	17	Hussein Ali		
---	------------------	----	-------------	--	--

Figur 5: Trimning

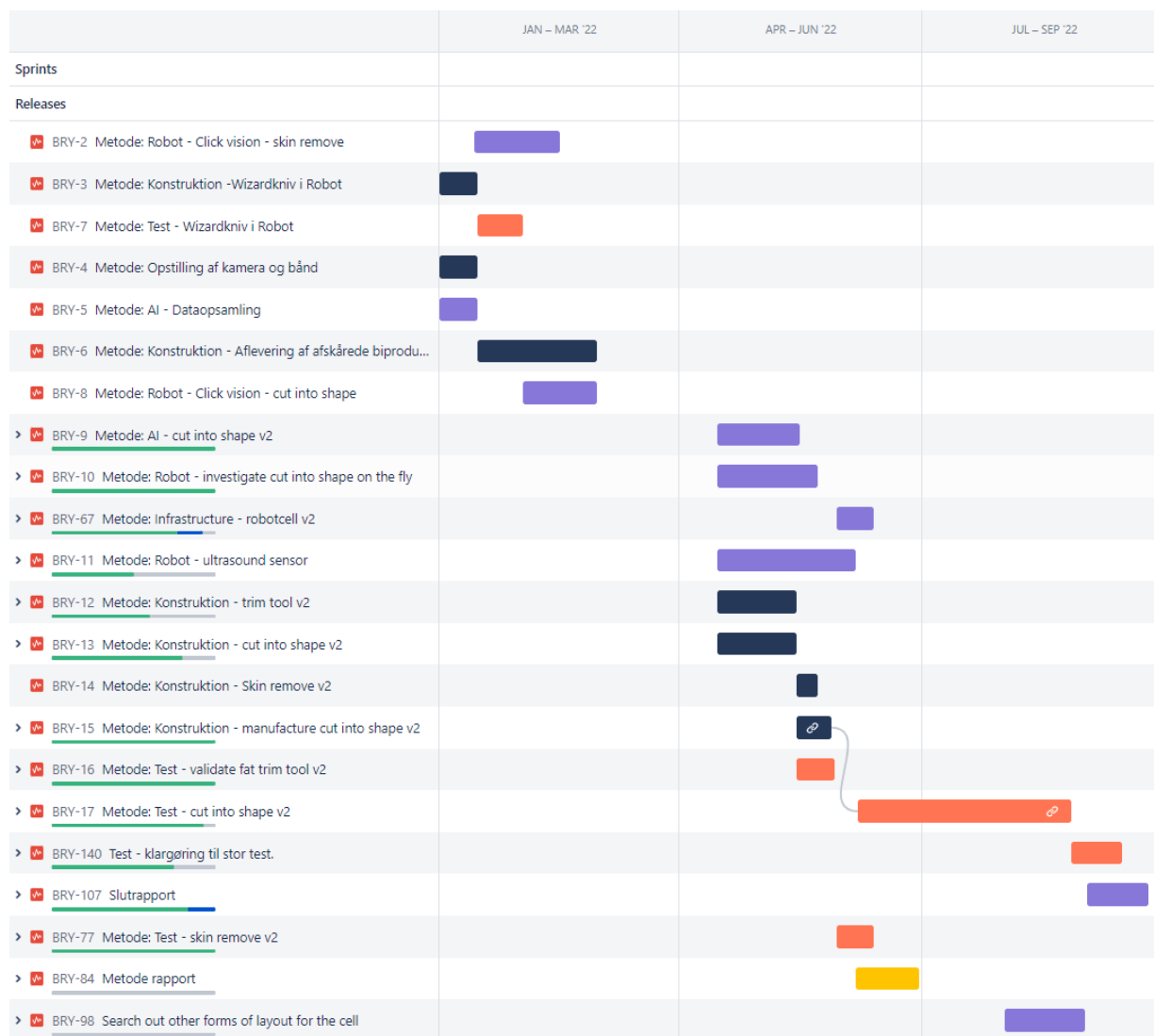
A3: Dokumentation fra afsluttende test

Dato for test 13/09/2022								
Robot hastighed: 4000mm/s								
Conveyor hastighed: 9m/min								
Kød specifikation: 230-240 ; 480-540								
Robot target: 230; 530								
Nr.	H eller V	Længde	bredden (riben)	bredden (slagende)	cut bug	Godkendt	Ikke godkendt	Note
1	v	53	24	23	1	1		
2	v	54	24	23	1	1		
3	v	53	24	23			1	Ikke godkendt pga forkert input.
4	v	54	23	23	1	1		
5	v	53	24	23,5	1	1		
6	v	54	24	24	1	1		
7	v	53	23	23	1	1		Værktøjet skubbede til kødet. Kødet var punktvis meget højt. Stadig godkendt produkt.
8	v	54	23,5	22	1	1		
9	v	56	24	22	1		1	
10	v	53	24	23	1	1		
11	v	53	23,5	23,5	1	1		
12	v	54	23,5	23	1	1		
13	v	54	23	22,5	1	1		
14	v	53	23	23	1	1		
15	v	53	23	23	1	1		
16	v	55	23	22	1	1		
17	v	53	24	22	1	1		
18	v	54	24	22	1	1		
19	v	55	24	23	1	1		
20	v	54	23	22	1	1		
21	v	54	23	22	1	1		
22	v	54	23	22	1	1		
23	v	51	23	23			1	Ændring blev implementeret, for at gøre det kortere. Resultat -> det blev det for kort. Dette datapunkt bør overvejes om det skal fjernes.
24	v	52	23	23	1	1		
25	v	52						
26	v	54	24	23	1	1		
27	v	54	23	23	1	1		
28	v	55	23	22	1	1		
29	v	54	24	24	1	1		
30	v	53	23	23	1	1		
31	v	54	24	24	1	1		
32	v	53	26	25	1		1	for bred
33	v	54	23	23	1	1		
34	v	55	23	23	1	1		
35	v	56	23	23	1		1	for lang
36	v	54	23	23	1	1		
37	v	54	23	23	1	1		
38	v	54	24	24	1	1		
39	v	54	23	24	1	1		
40	v	53	22	22	1	1		
41	v	53	24	24	1	1		
42	v	54	22	24	1	1		
43	v	54	23	23	1	1		
44	v	53	23	23	1	1		
45	v	55	22	24	1	1		
46	v	54	23	24	1	1		
47	v	53	23	24	1	1		
48	v	53	24	24	1	1		
49	v	53	23	24	1	1		
50	v	53	24	24	1	1		

A4: Oprindelig tidsplan og realiserede tidsplan



Figur 6: Oprindelig tidsplan



Figur 7: Realiseret tidsplan

A5: Budget ved projektstart

	Analyse	Idé	Metode	Funktionsmodel
Leverancer	Q3, 2021	Q4,2021	Q1, 2022	Q2-Q4, 2022
Budget (tKr)	1000	1000	1500	3000