



Projektnavn

Hyperfleksibel pakning af brystflæsk, midterstykker og kamme

Projektets formål og resultat

Projekts formål Projektet har til formål at videreføre det arbejde, som SAF-projektet "Hyperfleksibel pakke-robot" fra 2020-2021 havde opnået indenfor håndtering af følgende emballerede produkter: Brystflæsk, kamme og midterstykker. Nærværende projekt omfattede processerne, fra produkterne kommer ud af en flow pakker eller IWP-maskine, og til de er ført ned i en papkasse.

Pakkerobotten skal kunne håndtere brystflæsk, kamfilet og midterstykker. Disse produkter er udvalgt, da de udgør den største tonnage fra de analyse-rede pakkerier.

Projektet skal procesmodne håndteringen af de emballerede produkter, hvilket betyder ingen skader på folien, foldning af folien omkring produktet, placering af produktet i forskellige papkassetyper og forskellige pakkemønstre.

Projektet skal også evaluere, om det er muligt at indpasse en pakke-robot i de eksisterende pakkerier, og om det er muligt at etablere en infrastruktur af tomme papkasser samt fjerne fyldte papkasser i det eksisterende layout. Endeligt skal projektet evaluere kapaciteten for en pakke-robot, som håndterer produkter fra 3 - 19 kg/stk.

Opnået effekt af projektet Projektet har valideret pakkerobottens layout. Dette er sket ved at kortlægge den tilgængelige plads i de forskellige pakkerier på danske slagterier. Pakkepladserne blev 3D skannet¹ ved anvendelse af en Faro 360 rumskanner. Denne metode blev valgt, da den giver et realistisk indblik i de aktuelle pladsforhold. 3D skanningerne blev efterfølgende databehandlet i Inventor-CAD for at ekstrahere den mindst tilgængelige plads. Dette blev sammenholdt med pakkerobottens layout, og konklusionen var, at det var muligt at indpasse robotcel-len i det eksisterende pakkeris layout. Projektet har også synliggjort reduktionen af tunge løft og ensidigt gentaget arbejde, hvorved arbejdsmiljøet forbedres, og sektoren som helhed kan fremstå som en mere attraktiv arbejdsplads. Projektet har desuden eftervist, at en ensidigt, gentagende operation, såsom at folde folie omkring produkterne, kan automatiseres og optimeres i forhold til manuel foldning. Det skyldes den korte cyklustid imellem hver pakning og det

¹ Se Appendix 2

faktum, at operatøren foretager en punktfoldning (bredden af operatørens hånd), hvorimod det automatiserede robotværktøj har mulighed for at udføre selve foldningen i hele foliens bredde.

Resultat vs. formål opdelt på bruger, sektor og samfund

Projektet har udviklet videre på den eksisterende metodemodel fra det tidligere SAF-projekt. Det er lykkedes at levere en valideret funktionsmodel i form af en robotløsning, som kan klare pakning og håndtering (foliefoldning) af forskellige emballerede produkter. Ved færdigudvikling af projektets funktionsmodel vil der være mulighed for at forbedre mange af pakkeriernes pladsudfordringer, da det vil være muligt at pakke mere effektivt og dermed spare plads. Det vil også være muligt at levere en mere konsistent kvalitet i forhold til pakningen af produkterne. Generelt vil medarbejderne i pakkerierne få stor glæde af projektets resultater, da det vil lette hverdagen i forhold til minimering af tunge løft, ensidigt, gentagende arbejde og mestrene i pakkeriet vil have lettere ved at få balance i løfterokaden.

Projektets resultater har ligeledes stor, positiv effekt for hele sektoren, da pakkeriet er en af de mest mandskabstunge områder i slagterierne, samt et af de områder, hvor arbejdsmiljøet er særdeles udfordret. Ved implementering af projektets resultater vil det være muligt for slagterierne at frigive medarbejdere til andre opgaver på slagteriet samt fjerne nogle af de hårdest belastede arbejdsoperationer fra deres pakkerier. Som sektor ville implementeringen af ny teknologi som robotceller være med til at gøre sektoren mere attraktiv i forhold til at øge rekrutteringen af nye medarbejdere på flere forskellige niveauer og fagområder. Projektet har patentsikret konceptet med dets unikke løsninger, hvilket vil være med til at sikre et forspring for den danske branche og gøre det mere attraktivt for integratorer først at implementere robotcellerne i de danske slagterier.

Oplæg til videre arbejde

Projektet fik opbygget en funktionsmodel i et testrum ude på et slagteri, hvor det vil være muligt at validere eller udvide maskinen i forhold til nye produkter og kapaciteter.

Beskrivelse af løsningen

Beskrivelse af funktionsprincip

Projektet er afgrænset til håndtering af emballerede produkter fra flowpakke-, IWP- eller vakuummaskiner. Robotten tager de emballerede produkter fra båndet og fører dem over til en papkasse. Under flytningen af produktet fra bånd til papkasse foldes de løse² ender af folien rundt omkring produktet. Dette udføres af robotværktøjet. Projektet har primært arbejdet med brystflæsk, kamme og midterstykker.

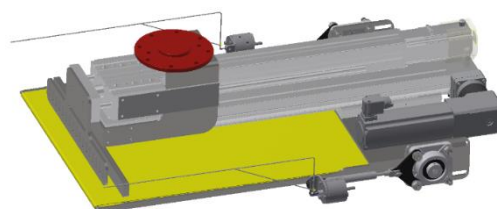
Beskrivelse af mekaniske del-systemer

Værktøjet, som håndterer de emballerede produkter, består af et løfteland på 650 [mm] x 440 [mm]. Dette løfteland sidder på en 400 [mm] elektrisk føring, som kan skyde frem i y-retningen.

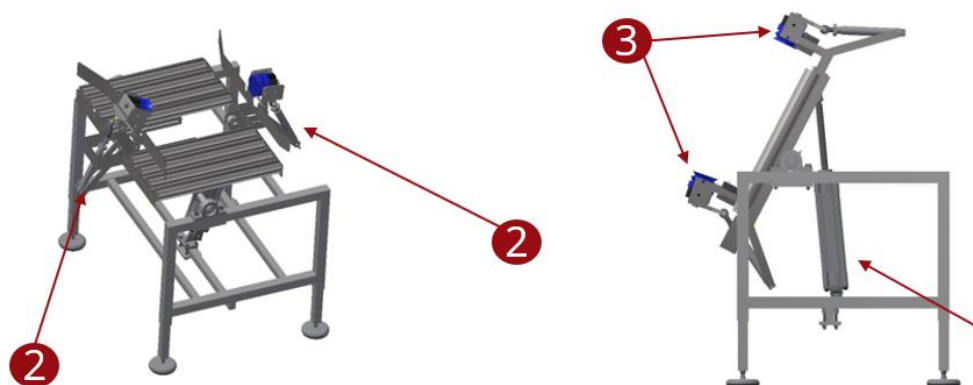
² Dette er kun gældende for IWP- og flowpakning.

Ovenpå løftelandet sidder en plade, som også er monteret på en 400 [mm] elektrisk føring. Den arbejder også i y-retningen og bruges til at supportere løftelandet ved at sikre produktets position på løftelandet.

Ved aflevering af produktet i papkassen vil værktøjet typisk være i en 20° - 35° vinkel.



Figur 1



Figur 2 Papkassestation

Papkassestationen (figur 1) kan fiksere en uåbnet papkasse i forskellige størrelser. Stationen har forskellige aktuatorer:

1. Bundaktuator, som kan justere hele vinklen på landet, hvor papkassen er placeret. Dette muliggør pakning af kamfilet, da vinklingen sørger for, at fileten ikke ruller rundt under pakning.
2. Foldeaktuatorerne. Ved aktivering vil sugekopperne (3) komme ned på den sammenfoldede papkasse for at sikre optimal kontakt med papkassen. Efter aktivering af vakuum på sugekopperne kan aktuatorerne aktiveres og dermed løfte/åbne papkassekanterne. Når aktuatorstemplet er helt i bund, står papkassekanterne med 5° oversving i forhold til vertikal akse. Dette sikrer, at papkassens kanter udspændes, så de ikke kollapser under fyldning af produkt og sikrer den maksimale åbningsgrad af papkassen.
3. Sugekopper med injektor og silikone-kanter. Vakuum bliver skabt ved anvendelse af Festo injektorer, som er placeret ude ved sugekopperne for maksimal vakuumkraft. Der anvendes sugekopper af silikone for at sikre korrekt kontakt mellem sugekop og papkasse.

Beskrivelse af elektriske delsystemer

Selve robotsystemet består af en Fanuc-robot, M-710i/50C, hvilket er en 50 kg payload robot. Robotcontrolleren er udstyret med en I/O 16 pin, som har styret de digitale signaler til de elektriske cylindre og magnetventiler.

Cylindrene har været udstyret med digitale encoder, så det har været muligt at aflæse position i robotstyringen. Dette har været brugt til at korrigere styringspositionen i forhold til aflevering af produktet ved den ønskede position.

Til opsamling af produkter på bånd er der anvendt en Fanuc-encoder, som opkobles direkte til robot I/O samt en diffus sensor til at angive produktposition og antal på båndet. Pakkestationen er styret af robotten I/O samt magnetventiler.

Beskrivelse af software Autodesk Inventor er brugt til udarbejdelse af CAD-tegninger. Til styring af elektriske cylindre er Festo Automation Suite brugt.

Testresultater

Resultat af afsluttende test Projektet udførte en funktionsmodeltest på pakning af 80 stykker brystflæsk og 60 stykker kamme. Brystflæskene blev fordelt på 10 kasser med 8 produkter i hver kasse. Pakkemønstret involverede 2 stykker brystflæsk i hvert lag, placeret side om side og med 4 lag i højden. Kammene blev fordelt i 10 kasser, med 6 stykker i hver kasse.

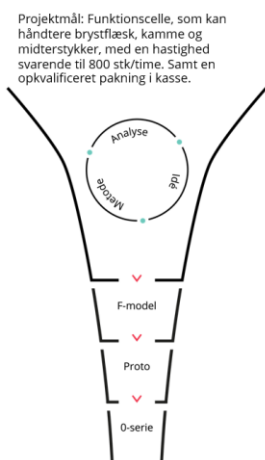
Testen blev udført for både brystflæsk og kamme med en hastighed svarende til en produktionskapacitet på 800 produkter i timen. Dette resulterede i en taktid på 4,5 sekunder fra opsamling på bånd, indpakning i foldefolie og placering af produktet i papkassen.

Resultaterne viste en succesrate på 100% i forhold til opsamling af produkter fra båndet og flytning til papkassen. Det blev desuden observeret, at i cirka 2% af tilfældene havde udstyret svært ved at pakke de sidste produkter korrekt (de øverste i papkassen). Den samme usikkerhed (ca. 2%) var også gældende for fejlplaceringen af produktet i papkassen.

Afvielser fra oprindelig kravspecifikation I forhold til afvielser fra den oprindelige kravspecifikation blev det på et styregruppemøde med branchen besluttet, at projektet ikke skulle udføre en omfattende test af pakning af midterstykker. Dette valg blev primært truffet på baggrund af ændringer i det globale marked, og i stedet blev fokus rettet mod pakning af brystflæsk og kamme.

Projekthistorik

Projektets historie opdelt efter innovationsmodellens faser og med tidslinje



Projekttitle: Hyperfleksibel pakkerobot

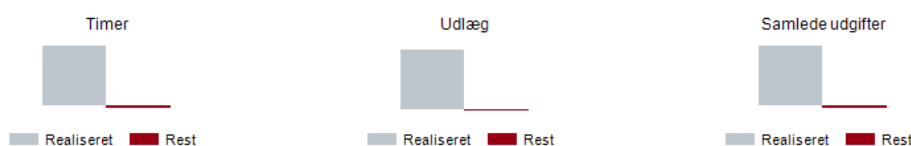
Faser	Periode	Aktiviteter	Leverancer
Analyse	Q1 2022	Freedom to operate Flow analyse Interview på slagterierne	Analysereport Kravspecifikation Risikomatrix Målsætning
Ide	Q2 2022	Brainstorming	Idekatalog Opdateret kravspecifikation Opdateret risikomatrix
Metode	Q3-Q4 2022	Testspecifikation Metode opbygning af ideer fra idekatalog Metodemodel test	Metoderapport Opdateret kravspecifikation Opdateret risikomatrix Projektindstilling (GO/NO GO) til funktionsmodel
F-model	Q1-Q3 2023	Testspecifikationer Funktionsmodel opbygning Funktionsmodel test	Funktionsmodel rapport Opdaterede kravspecifikation Opdateret risikomatrix Opdateret C/B
Proti			
O-serie			

Projektet leverede analyse-, ide- og metodefasen i 2022. Analysefasen viste behovet for yderligere arbejde med produkterne brystflæsk, kamme og midterstykker. Idefasen resulterede i udarbejdelsen af et idekatalog, der præsenterede mulige løsningskoncepter og ideer. Metodefasen byggede videre på den tidligere cellekonfiguration, hvorefter de nye metoder blev afprøvet inden for rammerne af den nye kravspecifikation.

I 2023 fortsatte projektet med at foretage kortlægning af den tilgængelige plads på de forskellige pakkerier. På baggrund af denne kortlægning blev det mest optimale layout dannet med henblik på at optimere robotens arbejdsrum. Metodecellen blev ombygget til det optimale layout, og hele værktøjet samt papkassestationen blev opgraderet for at opnå højere funktionshastigheder. Projektet blev afsluttet med en funktionstest.

Økonomi

Projektregnskab med noter



Figur 3: projekt økonomi 2022 og 2023

Projektbudgettet i 2022 var 3.500 tkr.

Projektbudgettet i 2023 var 900 tkr.

Fordelingen igennem projektfaserne har været:

Analyse	Idé	Metode	Funktionsmodel
200 tkr.	500 tkr.	2.800 tkr.	900 tkr.
Q1, 2022	Q2, 2022	Q2-Q4, 2022	Q1-Q3, 2023

Projektet har leveret inden for det fastsatte budget. Dog ville det have været hensigtsmæssigt med en større finansiering til funktionsmodelfasen, hvor det var nødvendigt at reducere leverancen omfattende midterstykker.

Konklusion

Projektet har udviklet en funktionsmodel af en hyperfleksibel pakke-robot, som kan implementeres direkte på den eksisterende operatørplads med minimale opgraderinger og tilpasninger af det eksisterende conveyorbånd samt filmemas-kinen. Dette muliggør en drift med en kapacitet, der matcher eller overstiger den nuværende kapacitet på pakkelinjen.

Projektet har gennemført en generel opgradering af hele systemet. Dette inde-bærer, at værktøjet er blevet gjort mere stabilt med hensyn til opsamling af både små produkter såsom kamme og store produkter såsom midterstykker. Anven-delsesområdet for værktøjet er blevet udvidet, så det nu er muligt at opsamle produkterne under bevægelse. Dette øger hastigheden i hele processen og giver større fleksibilitet med hensyn til placering af robotcellen og opsætning af robot-baner.

Foldemekanismen for værktøjet er også forbedret, så den kan håndtere forskel-lige produktstørrelser og foliebredder uden behov for justeringer. Dette gør det muligt for robotcellen at håndtere forskellige produkter med forskellige foliekon-figurationer og pakningsmønstre, samtidig med, at den leverer ensartet foldning ($97\% \pm 2\%$) og pakning i papkassen med en kapacitet på 800 enheder/time.

Projektet har ligeledes udviklet en papkassestation, som indgår i hele procesflo-wet. Dette er afgørende for en kontinuerlig drift af robotcellen. Stationen kan håndtere en bred vifte af standard papkasser og har mulighed for at holde de opretstående kanter på papkassen åbne under påfyldningsprocessen fra robot-ten. Hele stationen er integreret med robotten som en del af det overordnede koncept for at skabe fleksibilitet i pakkeriet.

Projektet har etableret et solidt fundament for fremtidens pakkeri i slagteribranchen og har dermed demonstreret muligheden for at optimere og automatisere visse kapacitets- og kvalitetskrævende processer.

Projektet kan udbredes til mange flere produkttyper og pakketeknologier. Pro-jektforløbet og afviklingen kan konkluderes at være tilfredsstillende i forhold til de estimerede leverancer for hele projektet.

Appendix

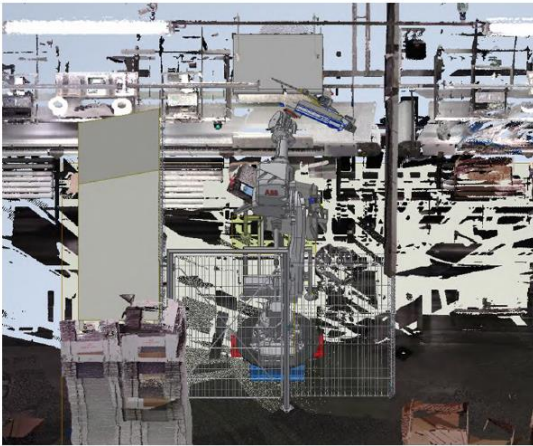
A1: Oprindelig kravspecifikation - kapacitet 800 stk./time.

- 4 stk./kasse 1882 i en smal kasse. (Vi har ikke mellemlæg imellem)
- 8 stk./kasse 1863 med 2 rækker af 4 stk.
- 627210 (kasse) med 4 stk. 1878 brystflæsk. (Ingen pakkemønster)
- 7 stk./kasse kamfilet

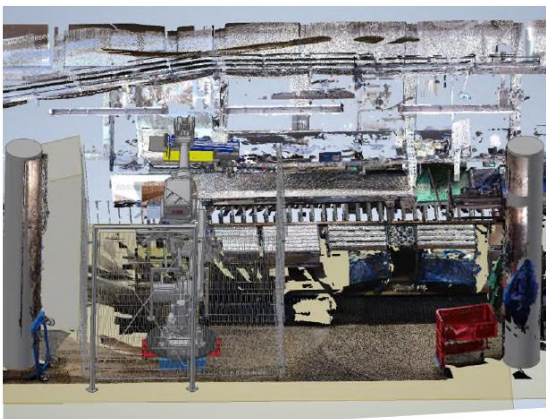
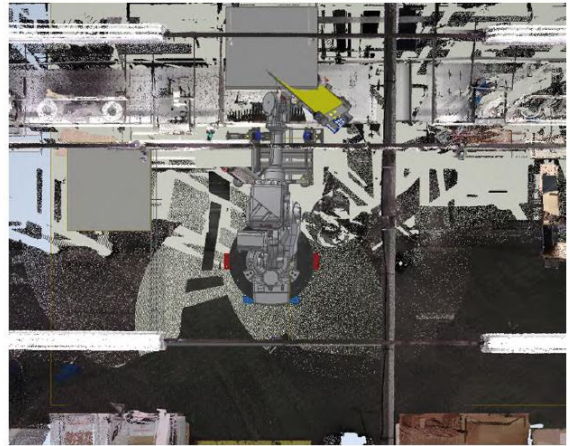
99% succesrate på foliefoldning

Mulighed for at indpasse i eksisterende pakkerier uden meget ombygning.

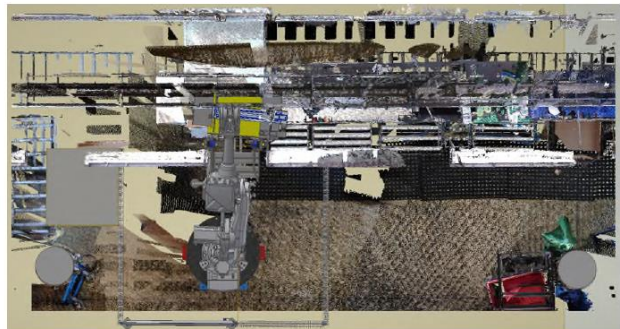
A2: CAD-dokumentation

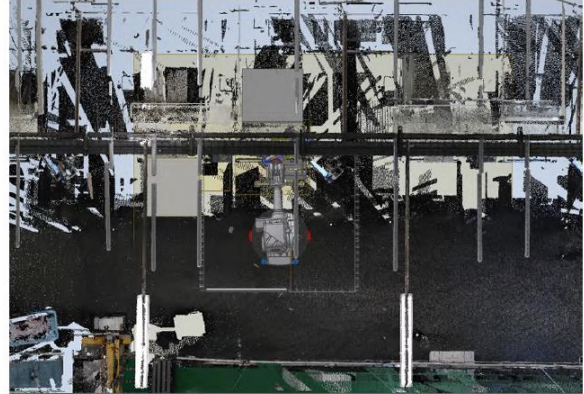
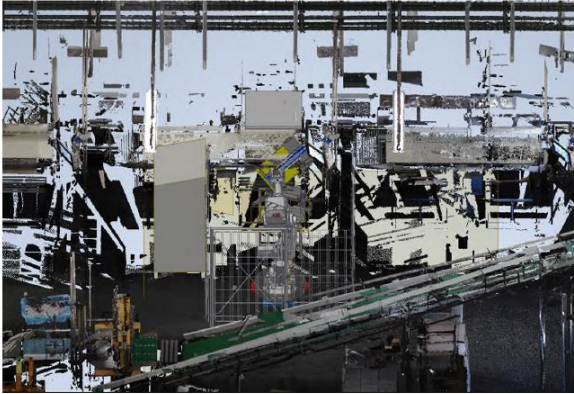


Figur 4 Slagteri 1

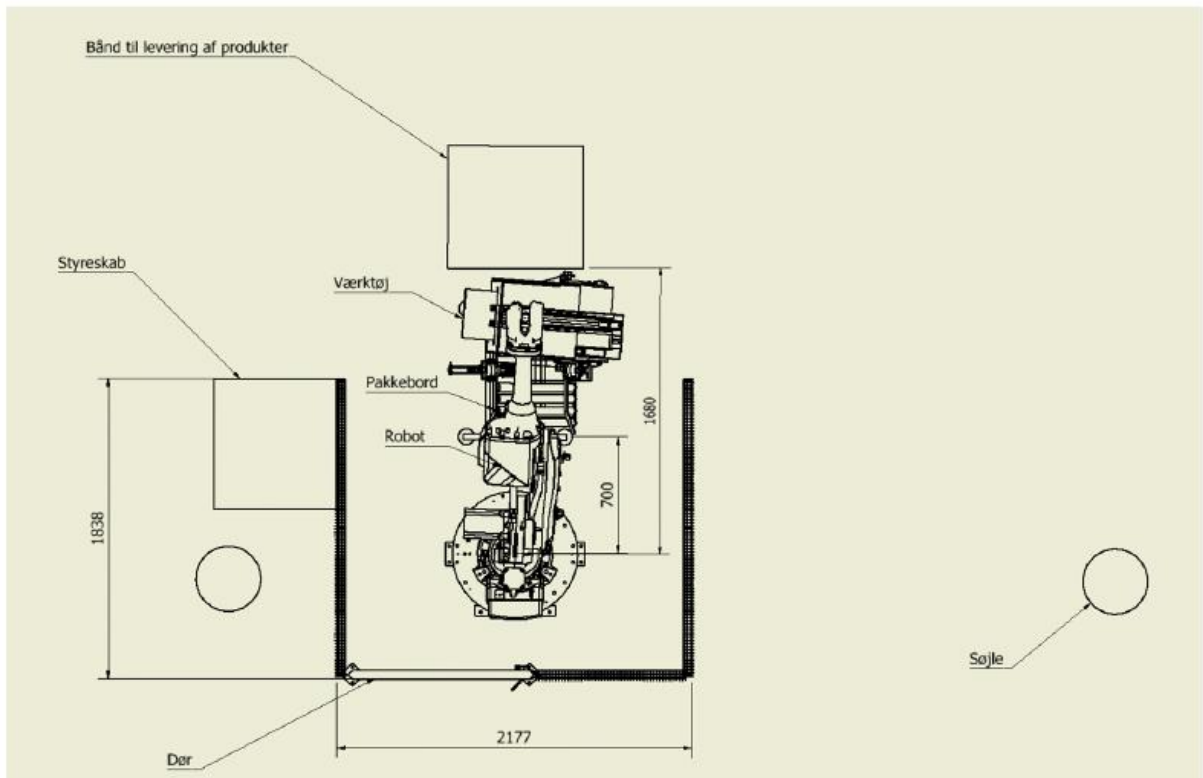


Figur 5 Slagteri 2



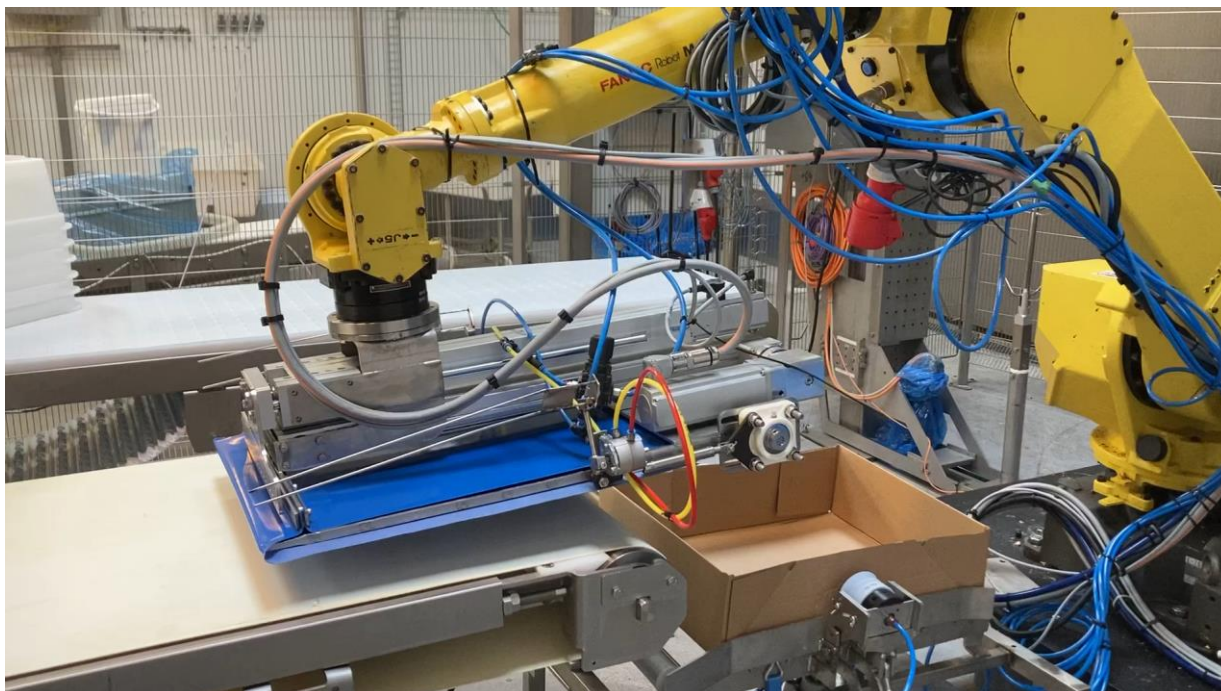


Figur 6 Slagteri 3



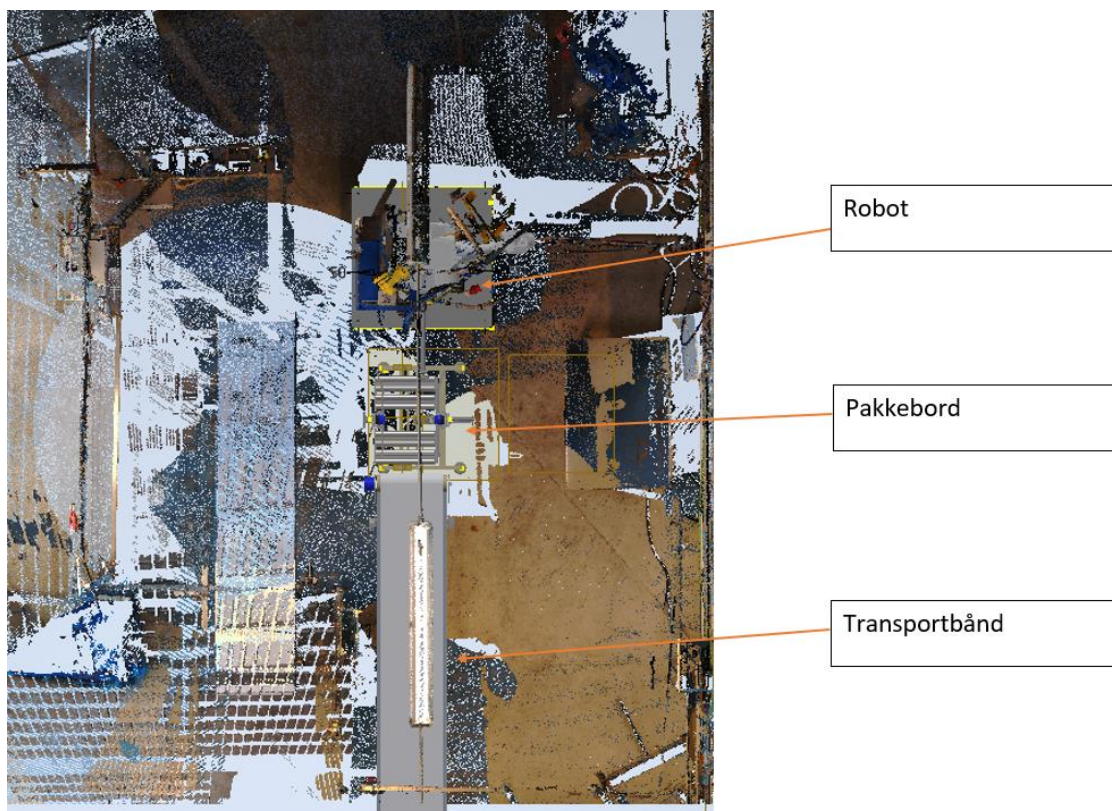
Figur 7: Endeligt cellelayout

A3: Dokumentation fra afsluttende test



Figur 8: Afslutningstest brystflæsk opsætning.

Robotten er afbilledet i dens "home" position, hvor den afventer produkter. Pakkasserne placeres i sammenfoldet tilstand i "pakkastationen", hvor de ved programopstart åbnes automatisk, og pakkassens kanter holdes oppe under fyldningen, således at de ikke kollapser og dermed modvirker, at produkterne kan komme ned i pakkassen.



Figur 9: Slutttest opsætning, set ovenfra.

Kasse nr.	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4	Produkt 5	Produkt 6	Produkt 7	Produkt 8
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Folie over kant
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Placeret forkert – folie ikke foldet	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Placeret forkert – folie ikke foldet	Ok	Ok	Ok	Folie over kant
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
10	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Figur 10: Brystflæsk 4x2 pakning

Fra den afsluttende test kunne det observeres, at der stadig er manuelt input i forhold til placeringen af produkterne på båndet, inden det kommer ind til robotten. Dette vil ikke være tilfældet under drift, da produkterne vil komme mere ensartet fra filmmaskinen.

Der er også lidt udfordringer med de sidste produkter i det øverste lag, hvor folien kommer over kanten på papkassen → Det vurderes, at der er meget "ekstra" folie på de produkter, som blev anvendt under testen, hvilket har indvirkning på slutresultatet.

Kasse nr.	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4	Produkt 5	Produkt 6
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Placeret forkert - folie ikke foldet
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	ok	Ok	Placeret forkert - folie ikke foldet
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Placeret forkert - folie ikke foldet	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
10	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Figur 11: Kammetest 10 kasser med 6 produkter i hver.

Her noteres det, at 3/60 produkter ikke får foldet folien ordentligt omkring produktet. Dette skyldes primært, at foliebredden er for stor i forhold til produktet, og dermed rammer alt den overskydende folie det tidligere placerede produkt og bliver dermed udposet i kanten/over kanten på papkassen.



Figur 12: Afslutnings-test med kamme

Ved pakning af kamme vil opsætningen af papkassestationen være anderledes end ved brystflæsk eller midterstykker. Her vil den være vinklet i 80°. Det er for at placere kammene med den samme orientering under hele pakningen og modvirke rulning nede i kassen.



Figur 13: udposning i bunden af kassen med folie

