



SAF – Årsrapport 2021

Tjek af materiel – forureninger og defekter

Peter René Bolvig Stentebjerg

24. august 2022

Proj.nr. 2008814

Version 1.1

PESG/MT/OLR

Indledning

Projektets rammer er beskrevet i ansøgningen til Svineafgiftsfonden fra 2019.

Aktiviteterne i projektet er blevet gennemført efter Innovationsmodellen udviklet af DMRI. Nedenfor gives et sammendrag af indhold og udvalgte resultater i projektet, som detaljeret er gennemgået med både følge- og styregrupper igennem hele projektperioden.

Formål og værdiskabelse

Kødindustrien anvender en del forskellige typer genbrugsmateriel, der benyttes til transport af råvarer og produkter, fx ophængningsmateriel som juletræer eller transportkasser til opbevaring af mindre kødprodukter.

Før genbrug vaskes og steriliseres materiellet for at undgå kontaminering, der kan være gamle produktrester, blod, olie eller andet. Det sker, at materiellet efter vask stadig er uegnet til videre anvendelse, enten fordi det stadig er forurenet, eller fordi det er defekt og skal sorteres fra. Defekter kan fx være en revnet, utæt kasse eller et bøjet eller knækket ophæng, der samtidig også kan være kilde til uønskede fremmedlegemer.

En 100% kontrol af alt genbrugsmateriel er meget omkostningstung, når den skal udføres manuelt. Med flere og flere automatiske processer i den daglige produktion stilles der også større krav til korrekt materiel, da operatører forsvinder og ikke ad hoc kan udføre korrigerende handlinger. Projektets formål er dermed at fremme effektivitet og lønsomhed i kødvirksomhederne ved at reducere omkostninger til manuelle inspektioner af materiel og til håndtering af uegnet materiel i produktionen.

Projektomfang og afgrænsning

Projektperioden løb over 2 år fra 2020 til og med 2021 og var sponsoreret af Svineafgiftsfonden (SAF). Ambitionen var at kunne udvikle metoder til automatisk kontrol af flere typer materiel. I løbet af projektets første år blev slagteriernes forskellige typer af genbrugsmateriel udforsket og vurderet mht. realiserbare løsningskoncepter og den tilhørende businesscase.

I samarbejde med projektets interessenter blev 2 applikationer udvalgt og prioriteret i forhold til projektets målsætning.

Denne prioritering var:

1. Juletræer, der er et ophængningsmateriel bestående af 20 kroge fordelt rundt på en stamme, der transporteres via glidestang rundt i virksomheden.
2. Hvide kasser, der benyttes til opbevaring og transport af forskellige typer af produkter.

Begge applikationer bygger på visionsystemer, der med kamerateknologi, lys og specialdesignet software automatisk vurderer materiellet for udvalgte defekter og forureninger.



Figur 1. Eksempel på de 2 typer slagterimateriel, henholdsvis juletræer og hvide transportkasser.

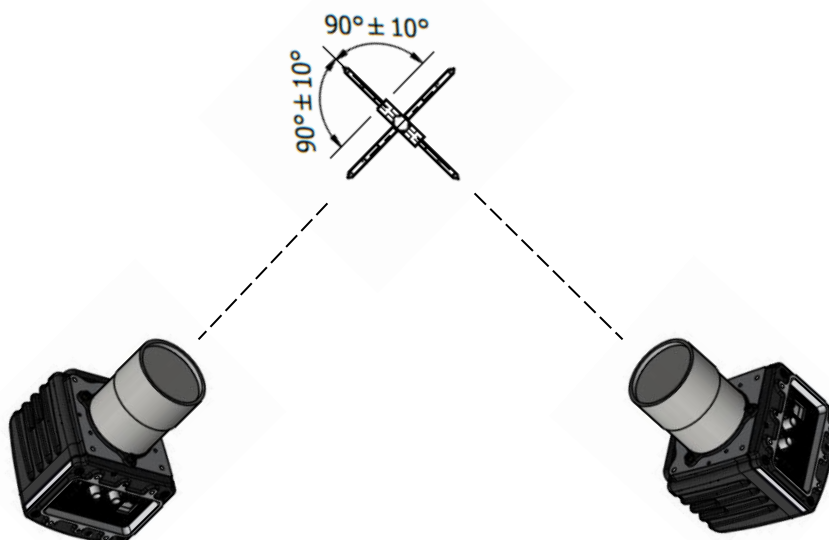
Projektforløb og resultater i 2021

I 2021 byggede projektet direkte videre på resultaterne fra 2020, hvor udvalgte løsningskoncepter blev udviklet gennem forsøgsopstillinger testet hos DMRI til opmåling af både juletræer og hvide transportkasser. Sidst i 2020 lykkedes det at få testet en visionopstilling til juletræsmåling hos værtsvirkomheden. Der henvises til projektets årsrapport fra 2020 for yderligere detaljer.

Nedenfor præsenteres projektforløbet og resultaterne for videreudviklingen i 2021 for applikationerne til henholdsvis juletræer og hvide kasser.

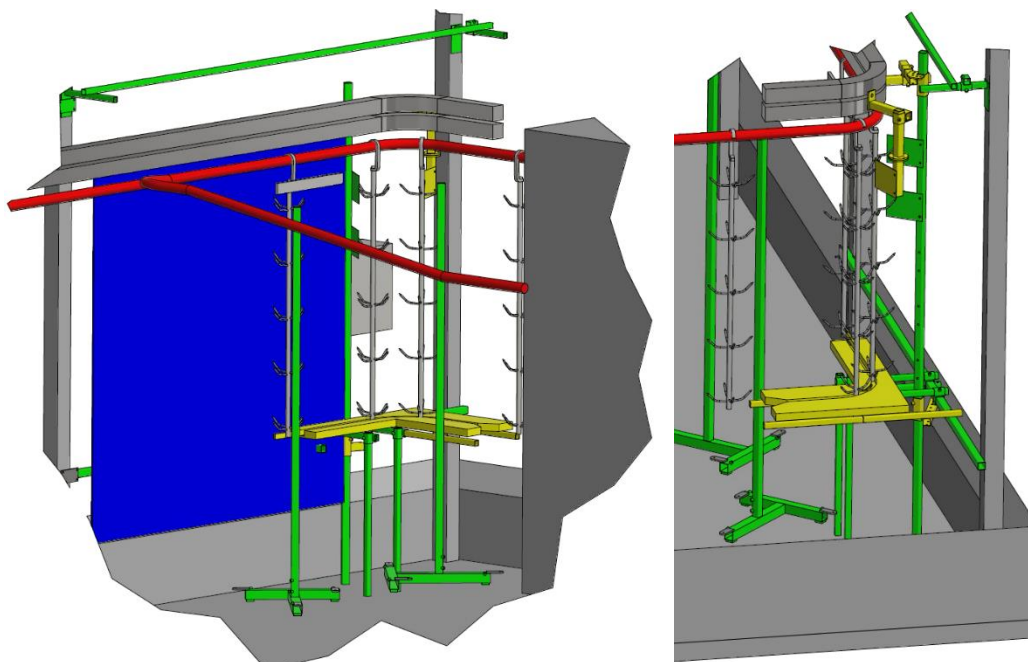
Juletræsapplikationen

Erfaringerne fra testen med forsøgsopstillingen hos værtsvirkomheden gav et indblik i udfordringerne med at få orienteret juletræerne præcist nok, så målingen kunne blive tilstrækkelig god. Opstillingen består af 4 kameraer og 4 lyskilder, der måler juletræet fra 2 sider for at kunne afdække både stammen og juletræets 20 kroge. Der måles fra 2 vinkler for at kunne analysere, om kroge er bøjet vertikalt (op eller ned) eller horisontalt (sideværtsbøjet), samt for at kunne vurdere stammens rethed. Nedenstående illustration viser opstillingen set ovenfra, hvor ét kamerasæt opstillet vinkelret på hinanden optager ét krog sæt fra juletræet. Det kræver som sagt 2 sæt kameraer for at kunne afdække hele stammen med alle 5 krog sæt.



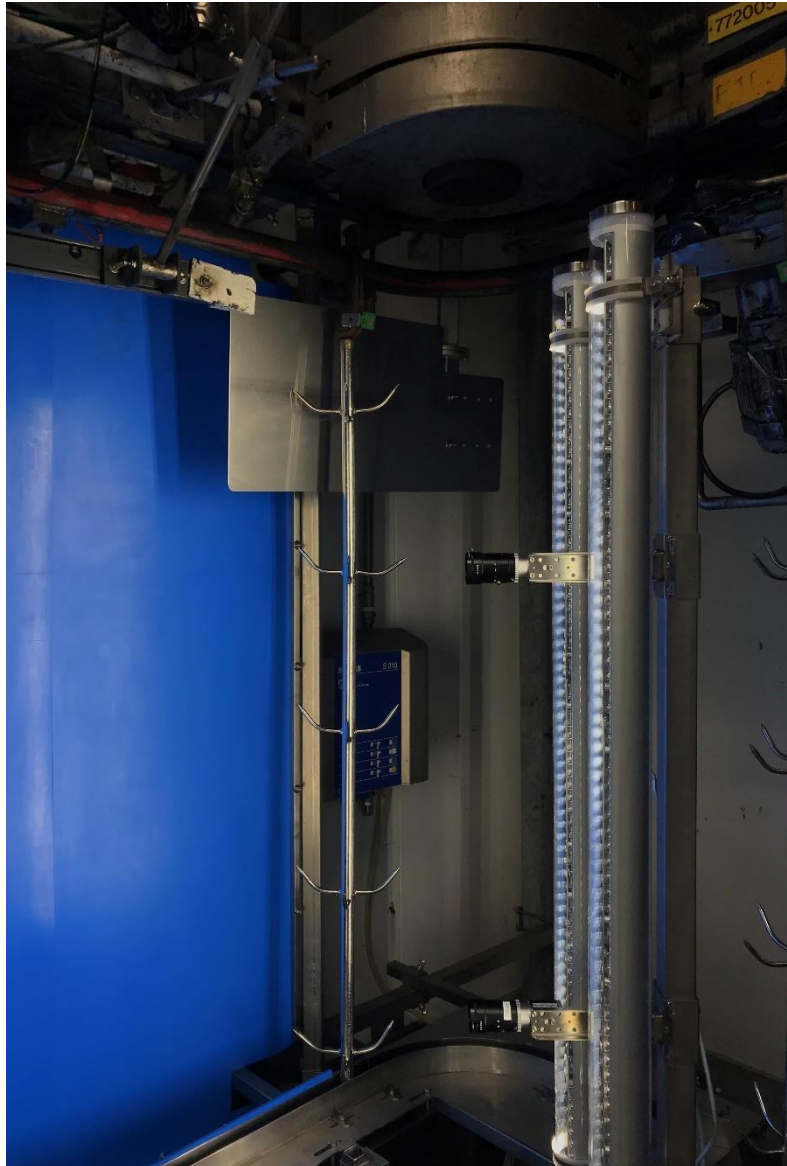
Figur 2. Illustration af placeringen af kameraer ift. juletræets orientering.

Der blev desuden designet en føring af juletræerne, når de passerede forbi visionopstillingen på glidestang. Nedenstående illustration viser denne føring set fra 2 sider.



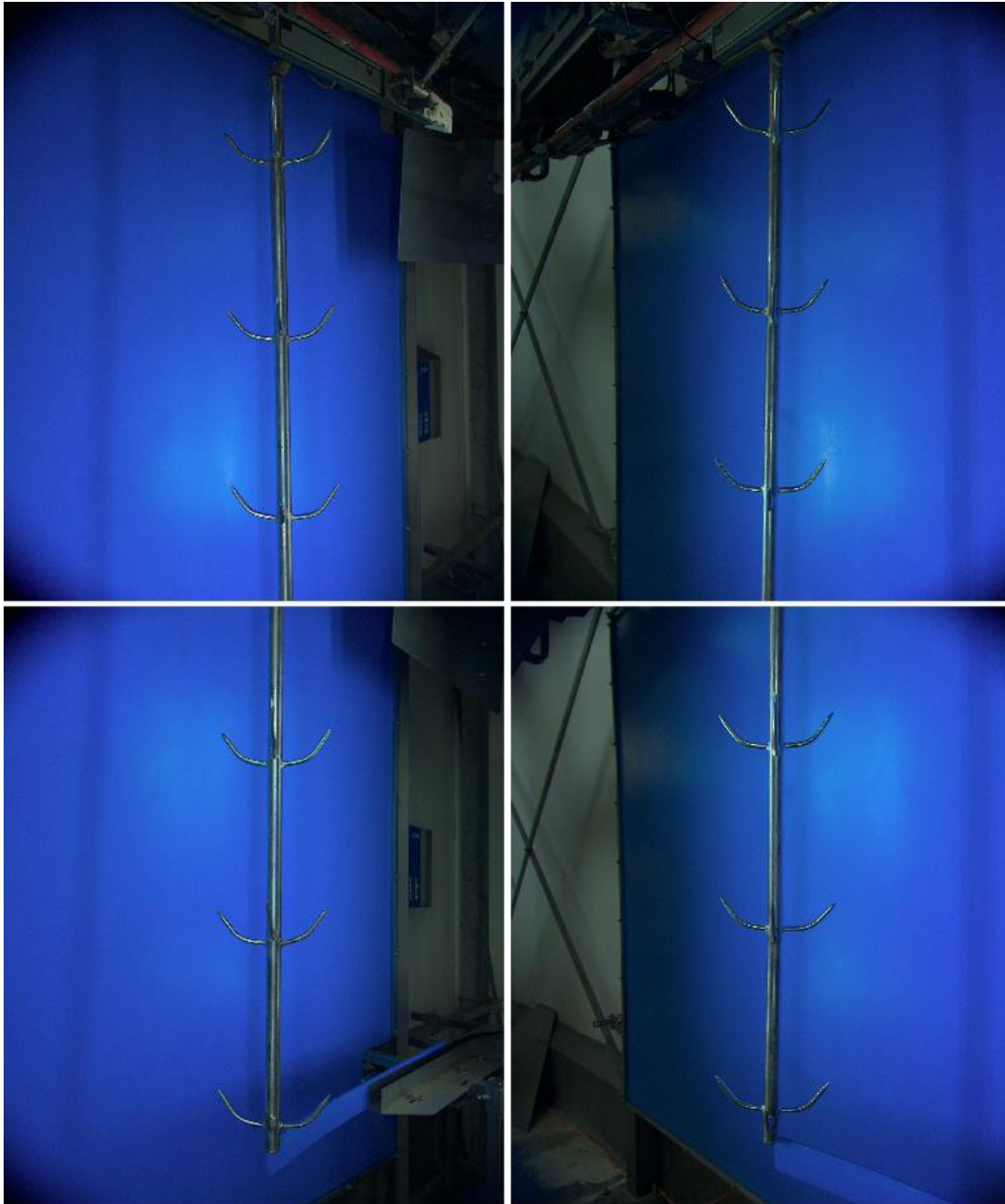
Figur 3. CAD-tegning af designet til føringen af juletræer, når de passerer via glidestang (røde stang) og forbi visionopstillingen ved den blå baggrundsplade.

For at opnå den korrekte position (rotation) blev der løbende udført eksperimenter, og den endelige løsning blev en vendeplade, som juletræet passerer forbi, så det automatisk roteres i position. Nedenfor vises et udsnit af måleopstillingen, der demonstrerer føringen af juletræer forbi kameraopstillingen, med en blå baggrundsplade.



Figur 4. Udsnit af forsøgsopstillingen hos værtsvirksomheden inkl. kamera og lys samt mekanik til føring og orientering af juletræet under bevægelse langs glidestangen.

Datamateriale fra den ovenstående måleopstilling er vist nedenfor, hvor der for hvert juletræ optages 4 individuelle billeder, der dækker de 5 krogset med et overlap af det midterste krogset.



Figur 5. Eksempel på et datasæt med 4 billeder, der optages for hver juletræsømåling

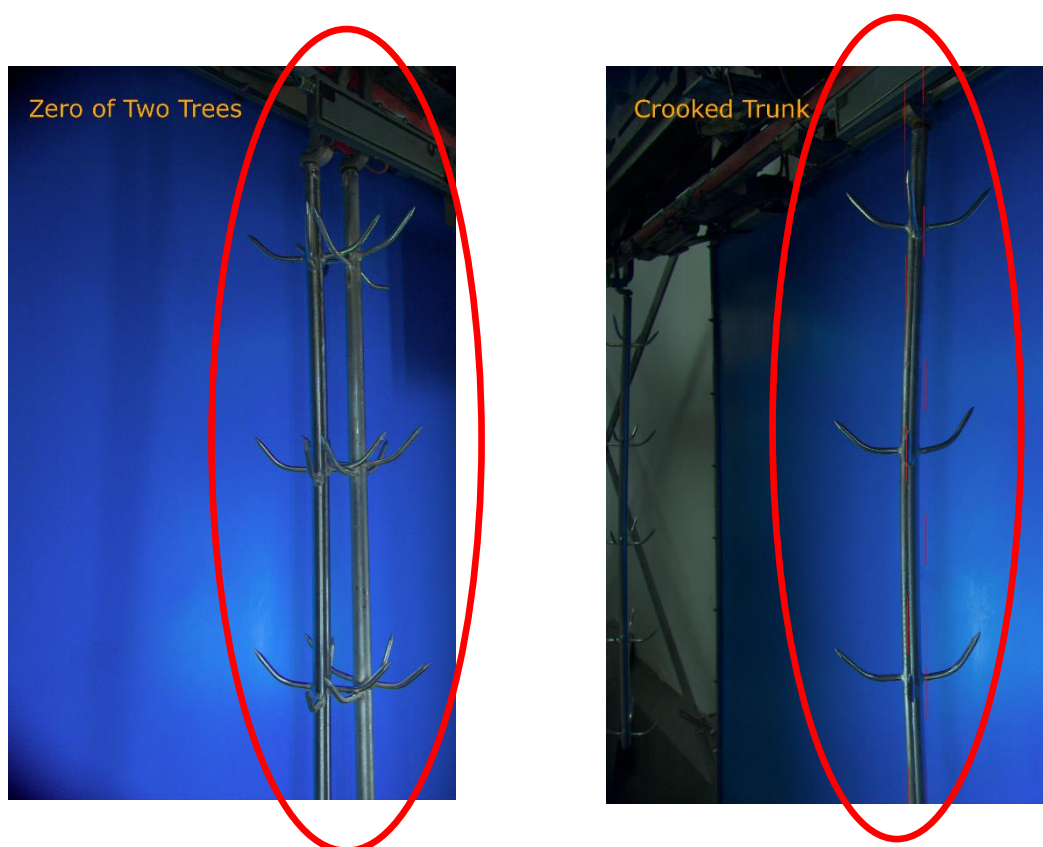
Databehandlingen af juletræsømålingerne blev den primære opgave i projektet i 2021, hvor der blev udviklet softwarealgoritmer til billedanalyse af følgende defekttyper:

1. To juletræer på én dropfinger (fejsituation under transport af juletræer)
2. Bøjet stamme
3. Manglende kroge
4. Skæve kroge vertikalt (bøjning op eller ned)
5. Skæve kroge horisontalt (sideværtsbøjet)
6. Kontaminering efter vask (kød- eller blodrester)

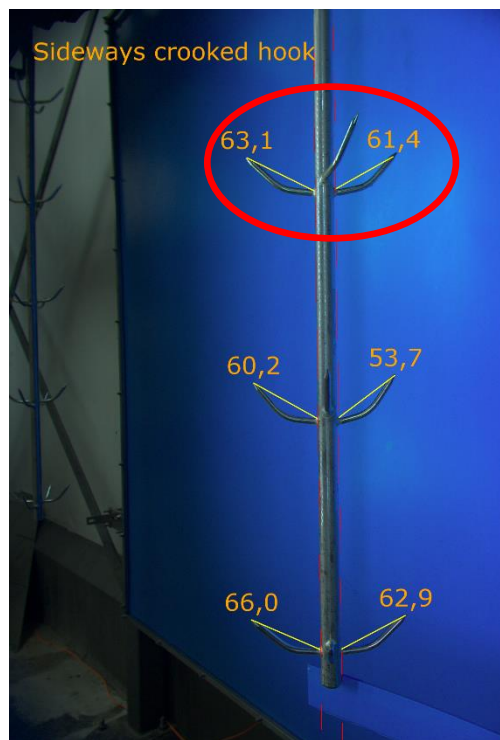
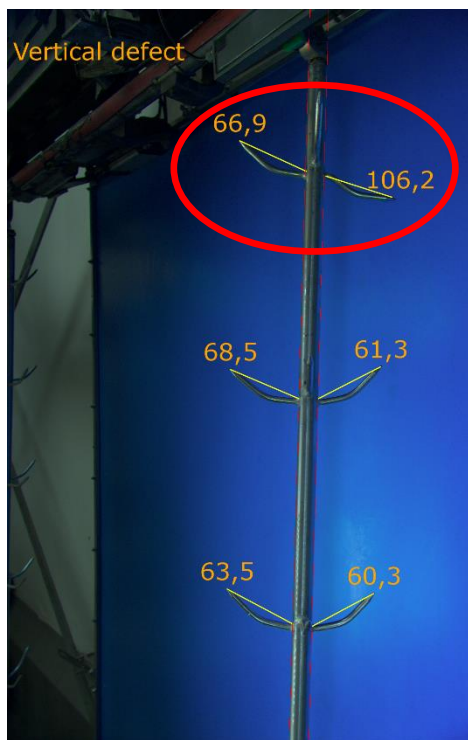
Ovenstående defektyper dækker det, der kan forekomme på juletræerne, og giver mulighed for at afgøre, om juletræet er korrekt vasket ift. tilstedeværelsen af kontaminering fra rester af kød eller blod. Der kan også forekomme oliepletter på juletræerne samt være defekter på C-krogen, der holder juletræet fast på glidestangen, men pga. afgrænsningen af målemetoden blev dette ikke medtaget i løsningen.

Resultater for juletræsapplikationen

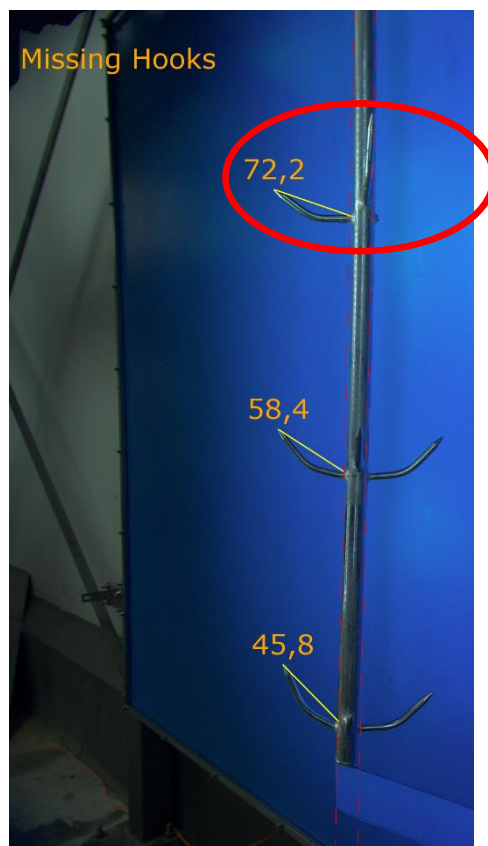
Nedenfor ses eksempler på analyseresultaterne for de seks typer af defekter og forureninger, der blev prioriteret i projektet.



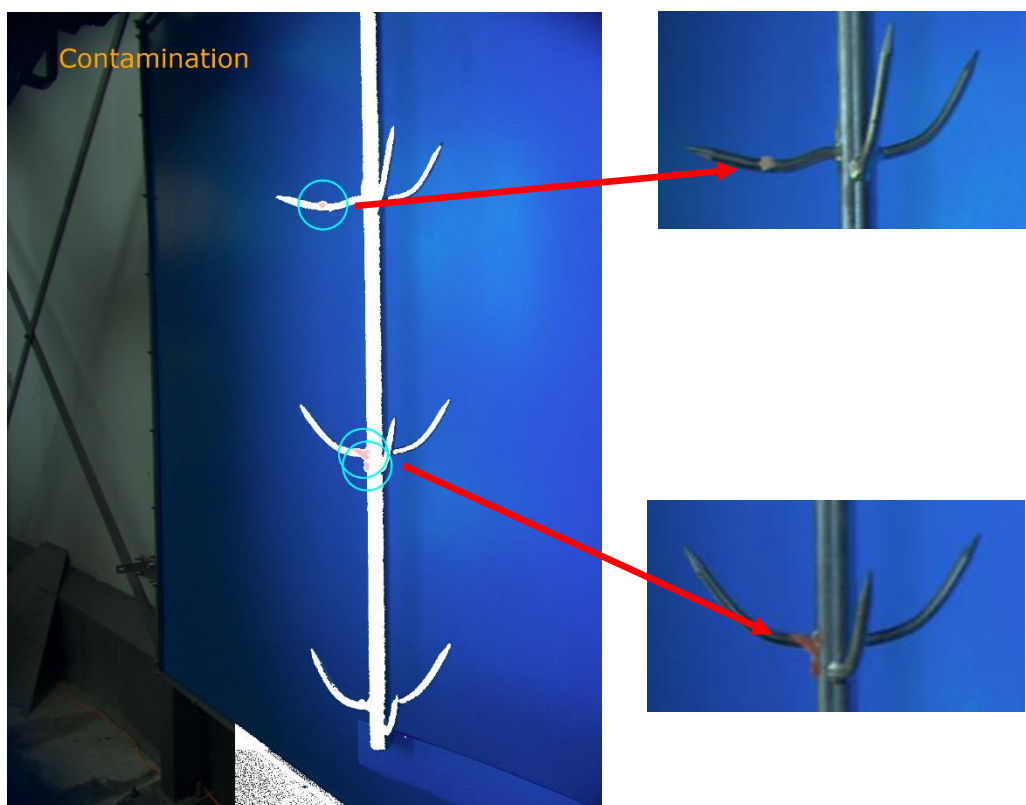
Figur 6. To juletræer på én dropfinger samt skæv/bøjet stamme.



Figur 7. Tv.: vertikal skæv krog (nedad bøjet). Th.: horisontal skæv krog (sideværtsbøjet).



Figur 8. Eksempel på juletræ med en manglende krog.



Figur 9. Kontaminering med to kødrester detekteret i billedet til venstre (juletræet er masket ud med hvidt, mens forurening er markeret med pink og en blå cirkel omkring). Til højre ses udsnit fra originalmålingen af juletræet.

Dataanalysen blev i løbet af projektet testet på et større datasæt med knap 600 juletræer målt i drift over nogle timer. Nedenstående tabel viser resultaterne:

Datasæt: **590 stk.**

Juletræer vurderet til at være OK: **439 (74%)**

Juletræer, der ikke kunne vurderes pga. forkert rotation: **26 (4%)**

| Defekttype | True Positive (Defekter, der fanges) | False Positive (Falsk anklaget som defekt) |
|--|---|---|
| To juletræer på én dropfinger | 6 | 6 |
| Bøjet stamme | 7 | 2 |
| Manglende krog | 7 | 2 |
| Vertikal skæv krog: ($< 40^\circ$ eller $> 80^\circ$) | 35 | 1 |
| Horisontal skæv krog (sideværts) | 21 | 5 |
| Horisontal og vertikal skæve kroge | 5 | 1 |
| Kød- & blodforureninger | 23 | 4 |
| I alt | 104 (18%) | 21 (4%) |

Opgørelsen viser, at knap 20% af juletræerne har en eller anden form for defekt ift. de opstillede krav til juletræets tilstand. Samtidig angiver resultaterne også, at dataanalysen har en vis usikkerhed mht. at kunne foretage en korrekt vurdering. Udfordringerne med disse målinger bestod primært af fejl pga. føringen, hvor juletræet enten svingede for meget eller var blevet orienteret forkert ift. måleopstillingens specifikation, hvor krogsættene skal stå vinkelret på de to kameraopstillinger (Se figur 2).

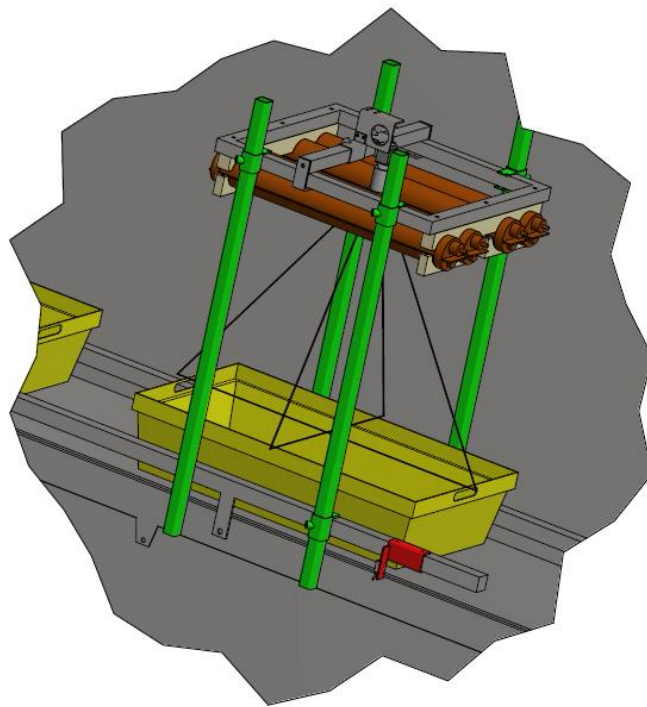
Konklusion og evaluering af juletræsapplikationen

Ovenstående resultater viser, at alle seks defekt- og forureningstyper kunne detekteres af algoritmerne implementeret i udstyrløsningen. Kravene til, hvornår et juletræ ikke kan bruges, kan p.t. ikke fastlægges præcist, da det afhænger af den enkelte operatørs vurdering af, om juletræet kan anvendes eller ej. Med henblik på fremtidige automatiske ophængningsstationer, hvor robotter skal overtage den manuelle ophængning, vil kravene, der stilles til juletræets tilstand, være mere krævende, idet en manuel operatør oftest kan korrigere ophængningen, hvis fx en krog er bøjet udover standarden, eller hvis et juletræ er kontamineret med kødrester. I tilfælde af, at den automatiske robotophængning ikke kan korrigere for disse situationer, bør juletræerne på forhånd sorteres af et automatisk kontroludstyr, da det er omkostningstungt at udføre denne krævende kontrol manuelt. Udfordringen med udstyrløsningen i dette projekt var at få foretaget en tilstrækkelig korrekt opmåling af juletræet, hvor orientering altid var korrekt, og der ikke opstod større svingninger under føringen af juletræet. Konklusionen blev derfor, at den endelige løsning skal kunne orientere juletræet mere præcist foran visionudstyret og fastholde det under målingen for at undgå svingninger. Samtidig bør der anvendes ét kamera per krogsæt, hvilket vil øge systemets præcision.

Kasseapplikationen

Udviklingen af kassemålingen blev i 2020 foretaget hos DMRI med forskellige forsøgsopstillinger, der skulle afgøre designet af visionopstillingen med kamera og belysning. Det blev samtidig besluttet at afgrænse udstyret til kun at opmåle kassen ovenfra, dvs. foretage en vurdering af kassens inderside samt begge håndtag for henholdsvis skader (brud, revner og huller), og forureninger (kødrester og andre urenheder). I 2021 blev designet færdigudviklet og sammen med værtsvirkomheden fik man identificeret en passende lokation, hvor de hvide kasser kunne opmåles, før de blev transporteret til en af skærestuerne, men efter de var blevet vasket og rengjort.

Nedenfor ses CAD-tegning af visionopstillingen samt den endelige udstyrløsning, der blev opsat hos værtsvirkomheden til dataopsamling og test.

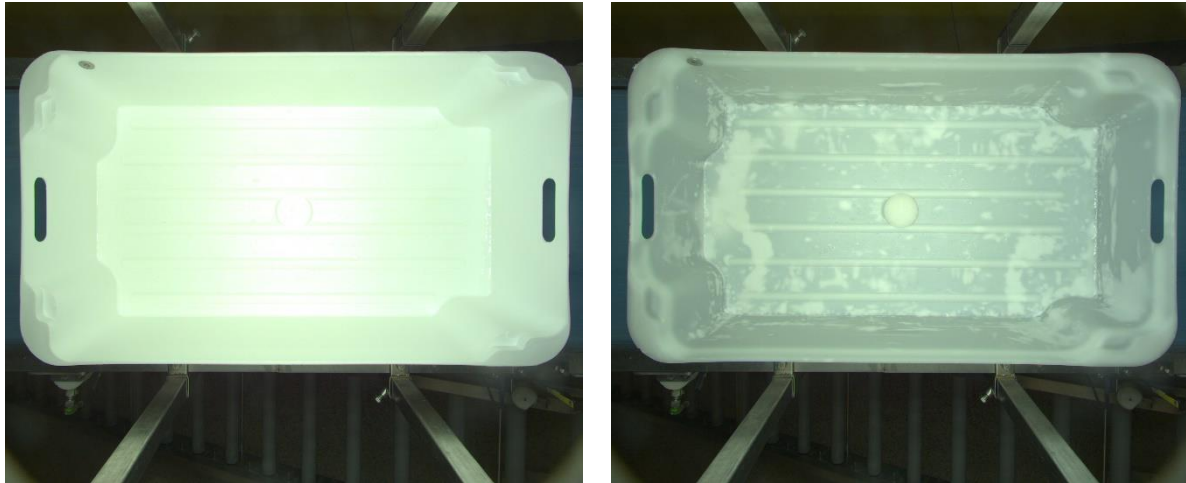


Figur 10. CAD-tegning over designet af visionløsningen til opmåling af de hvide kasser.



Figur 11. Udstyr opsat hos værtsvirksomheden over en eksisterende transportlinje. Visionløsningen består af 4 lamper og 1 kamera samt 1 sensor, der trigger opmålingen af kassen, når den passerer under udstyret.

De hvide kasser kan have forskelligt udseende, som giver en udfordring ift. dataanalysen, der automatisk skal kontrollere kassen for både defekter og forureninger. Nedenfor ses eksempler på forskellige typer kasser optaget med visionudstyret hos værtsvirksomheden.



Figur 12. Billeddata fra visionudstyret af to typer af de hvide kasser, der benyttes hos værtsvirksomheden. Bemærk, at den højre kasse er mere gennemsigtig end den venstre, idet det blå transportbånd kan antydes i kassens nuance, samt at plaststrukturen med evt. slagmærker er helt tydelige.

Kassens defekter kan opdeles i 3 kategorier med følgende uønskede bivirkninger.

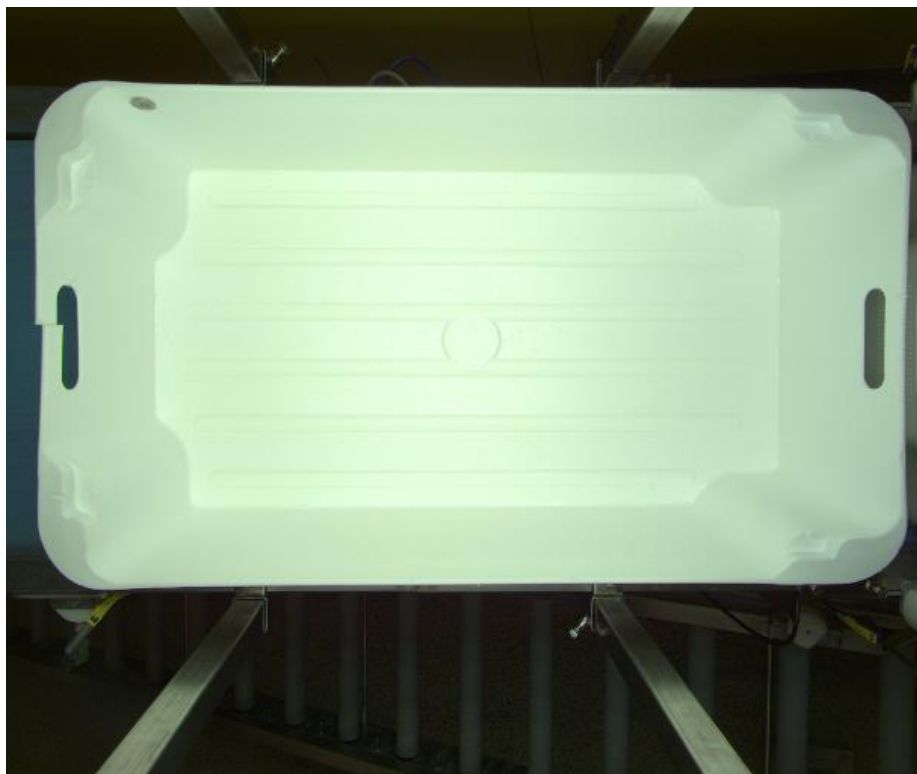
- Brud på kassens håndtag, der kan forårsage skade på hænder og fingre ved løft.
- Revner i kassen, der kan betyde, at væske fra produkt drypper ud af kassen.
- Huller i kassen, der kan betyde, at produkt falder ud af kassen eller kontamineres.

Derudover kan der forekomme forureninger i kassen i form af kødrester eller andre urenheder, der ikke er blevet fjernet under vask.

Pga. de forskellige typer af defekter og forureninger blev det tydeligt, at kontrolanalysen skulle opdeles i flere forskellige algoritmer dedikeret til at finde en bestemt defektkategori. Samtidig kan de enkelte brud se meget forskellige ud, i både størrelse, form og struktur og befinde sig vilkårligt i kassen. Fremgangsmåden for dataanalysen blev derfor at udvikle algoritmer baseret på kunstig intelligens, hvor neurale netværk trænes til at genkende hver defektkategori. Udfordringen blev at få opsamlet datamateriale nok til at dække variationerne "godt nok" for hver defekttype. Der blev i alt gennemført tre dataopsamlingsforsøg hos værtsvirksomheden, hvor frasorterede kasser med brud blev skannet af visionudstyret, samtidig med at enkelte kasser fik påført diverse kødrester for at simulere forurening.

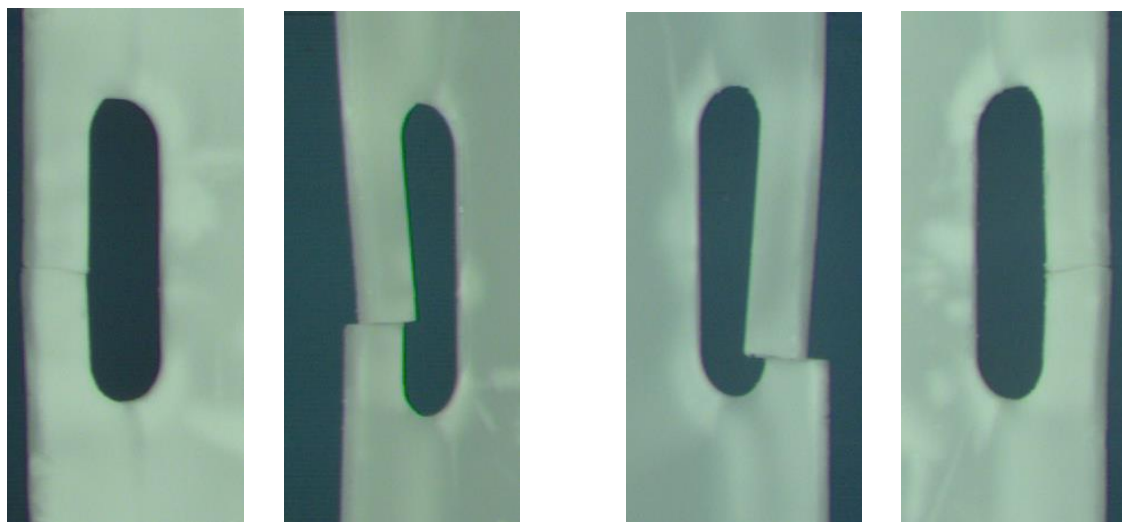
Resultater for kasseapplikationen

Nedenfor ses et eksempel på en kasse med et brud på håndtaget. Kassen har ikke andre skader og kan på sin vis godt benyttes til transport af produkt, men pga. defekten i håndtaget kan der potentielt ske skade på hånd og fingre, når den løftes af personel, især hvis kassen er fyldt med produkt.



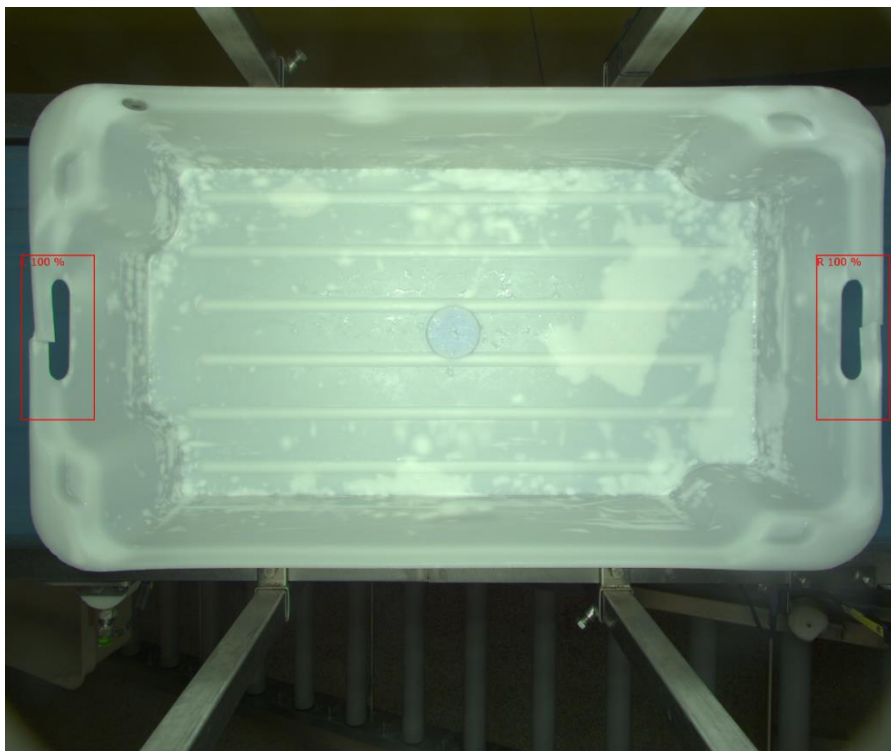
Figur 13. Eksempel på en kasse med et knækket håndtag i venstre side.

Brud på håndtag kan også vise sig forskellige, som eksemplificeret nedenfor, hvor man ofte skal nærstudere kassen for at afgøre, om håndtaget er brudt. Denne inspektion forekommer dog sjældent under travle produktionsforhold på virksomhederne.

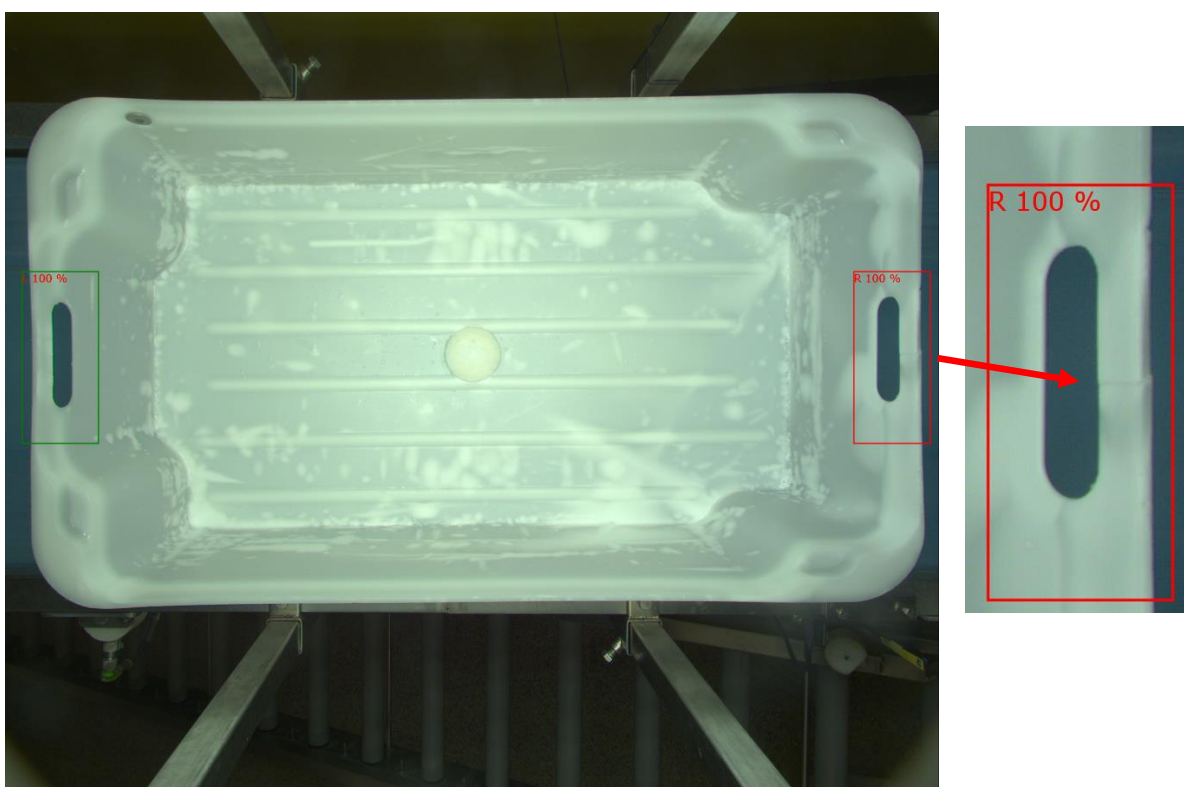


Figur 14. Eksempler på fire håndtag fra begge sider af kassen. Bemærk, hvordan bruddene kan være mere eller mindre tydelige alt efter bruddets form.

Ovenstående udklip af håndtagsregionen blev udført for en lang række billeddata af kasser både med og uden defekte håndtag. Data blev herefter anvendt som træningsæt til et neuralt netværk til at lære at skelne mellem ubeskadiget eller defekt håndtag. Resultatet af denne datamodellering ses nedenfor, hvor rammen omkring håndtaget indikerer afgørelsen. Samtidig giver modellen også en talværdi (procent), der indikerer, hvor sikker vurderingen er.

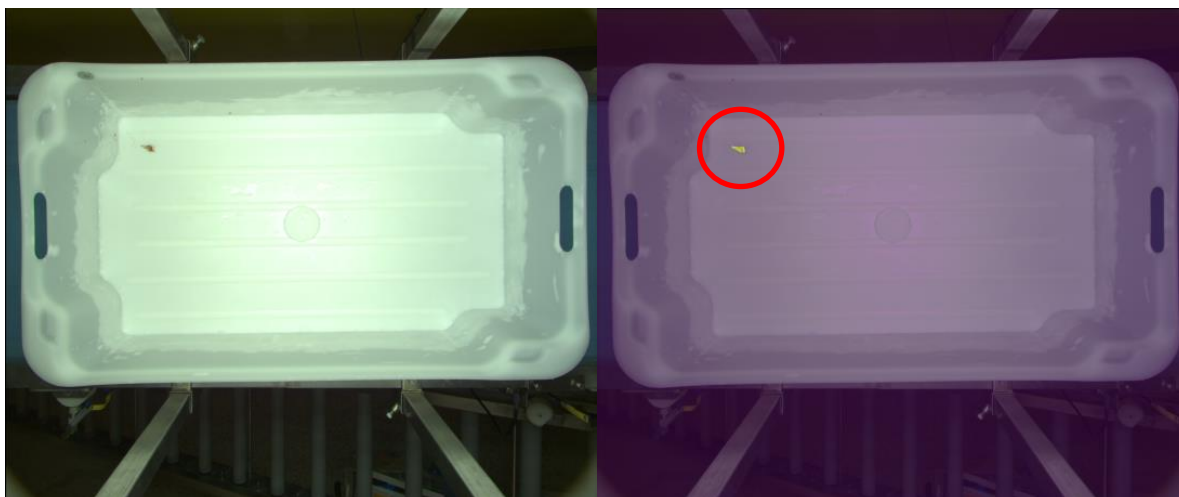


Figur 15. Eksempel på resultat fra dataanalysen, hvor begge håndtag er angivet som defekte med 100% sandsynlighed (rød markering med % angivelse).

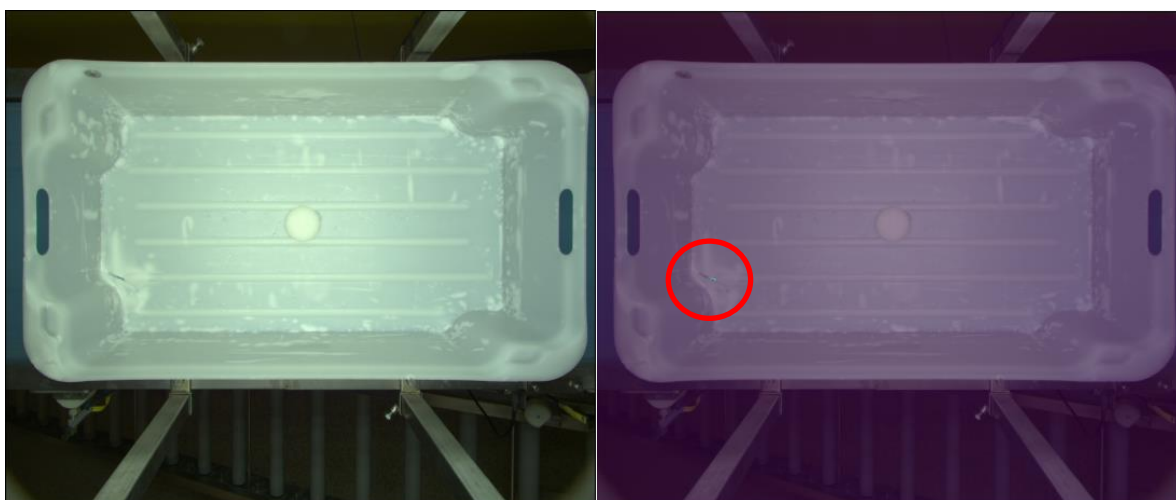


Figur 16. Endnu et eksempel, hvor det venstre håndtag er intakt (grønt), mens det højre har et brud (rødt), der ikke er ret tydeligt og derfor nemt kan overses.

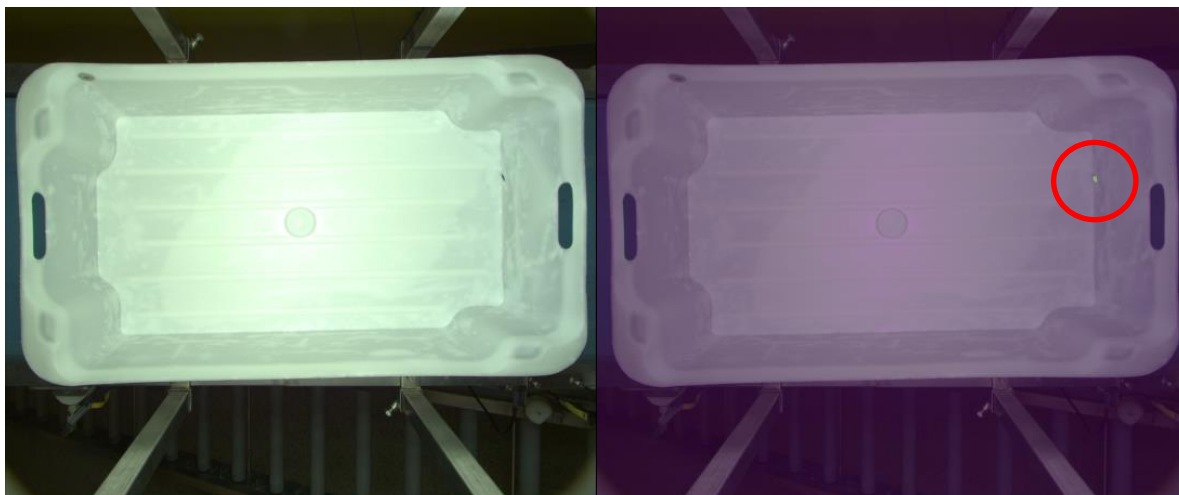
Til at detektere revner, huller og forurening blev hver af disse kategorier anvendt i et særskilt neuralt netværk, der udover at blive trænet til at genkende defektypen også kunne indkredse området, hvor defekten befandt sig. Dette kaldes også objektets maske. Flere eksempler af hver defekttype blev derfor annoteret, dvs. området med defekten blev markeret og benyttet som input til det neurale netværk. Nedenstående resultater er fundet på billeder, der er optaget under daglig drift hos værtsvirksomheden.



Figur 17. Eksempel på en forurening fundet i venstre hjørne af kassen, vist i området markeret i resultatbilledet til højre.



Figur 18. Eksempel på en revne fundet i venstre side af kassen.



Figur 19. Eksempel på et mindre hul fundet i højre side af kassen.

Datamodelleringen blev sidst i projektet anvendt på et større sæt af billeder (godt 1000 kasser) optaget under drift hos værtsslagteriet. Opgørelsen er vist nedenfor, opdelt i de forskellige defekt- og forureningskategorier.

Tabel 1. Opgørelse over resultater på ca. 1.000 kasser optaget under drift.

| Driftsdata (1043 kasser) | True Positive (Defekter, der fanges) | False Positive (Falsk anklaget som defekt) |
|---|---|---|
| Forureninger (synlige kødres- ter eller blodpletter i kas- serne) | 6 (0,5%) | 7 (0,7%) |
| Huller eller revner | 7 (0,7%) | 9 (0,8%) |
| Knækket håndtag (2.086 håndtag) | 54 håndtag på 52 kasser (5%) | 1 håndtag |
| I alt | 65 kasser (6,2%) | 16 kasser (1,5%) |

Det bemærkes, at der findes en større mængde kasser med håndtagsdefekter (5%), hvorimod huller, revner og forureninger forekommer i et mindre antal, samtidig med at der er en relativt større mængde falske positive.

Konklusion og evaluering af kasseapplikationen

Ovenstående resultater viser, at udstyrsløsningen er i stand til at detektere de forskellige kategorier af defekter og forureninger, der kan forekomme på transportkasserne, som dagligt anvendes i stor stil hos produktionsvirksomhederne.

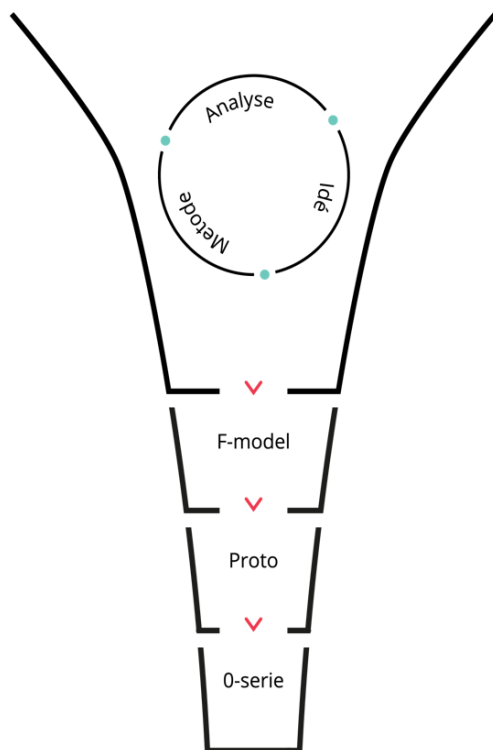
I den sidste periode af projektet blev der arbejdet på at få de forskellige algoritmer implementeret i udstyret til en realtidsløsning, der ville være i stand til at evaluere udstyret under drift hos værtsvirksomheden. Håndtagsdetektionen blev først lagt ud og gav pålidelige resultater med meget få falske positive, mens detektionsalgoritmerne for huller, revner og forureninger gav større udfordringer. Mængden af falske positive var større end antaget, og der blev konstateret enkelte kasser med brud, som ikke blev detekteret. Selvom der også blev fundet flere kasser med reelle brud og forureninger,

kan man konkludere, at de neurale netværk ikke blev trænet op på en tilstrækkelig datamængde ift. den variation af defekter og forureninger, som kan forekomme i kasserne. Forekomsten af håndtagsdefekter er derimod betydelig større end de andre defektkategorier og kan samtidig nemmere indkredses til en bestemt region af kassens areal. Derfor blev netop denne type defekt nemmere at træne på netværket, hvilket også gav mere robuste resultater demonstreret i drift.

Udstyrløsningen er fortsat i spil hos værtsvirksomheden, idet der efter projektets afslutning er foretaget yderligere algoritmeudvikling for at forbedre detektionsevnen af mindre brud, huller og forureninger i kasserne. Resultaterne herfra har givet udstyrløsningen et betydelig løft i performance, hvilket kan komme flere virksomheder til gode ift. at sikre deres transportkasser for potentielle defekter og forureninger.

Innovationsmodellen

Projekt mål:



| Faser | Periode | Aktiviteter | Leverancer |
|-----------|-------------------|---|--|
| Analyse | 1. kvartal 2020 | Analysere og prioritere forskellige typer af materiel til kontrolapplikationer. Prioritere defekter og forureningstyper. Udvælge værtsslagteri. | Prioriteret liste (oversigt) af materiel. Kravspecifikation & Business case (1. udkast) Projektbeskrivelse (tidsplan, økonomi) |
| Ide | 2. kvartal 2020 | Undersøge forskellige kameraudstyr ved "primitive" forsøgsopstillinger in-house. Patent-undersøgelse: "Freedom to Operate". | Idé-katalog over koncepter til min. 2 løsninger. Revidering af kravspecifikation & Business case. Risikoanalyse. |
| Metode | 3-4. kvartal 2020 | Designe vision-løsninger inkl. kamera, lys og mekanik. Software- og algoritmeudvikling på metode-niveau. | Verifikationstest (In-house) af vision-løsninger. Kravspecifikation for udvalgte defekter og forureninger. |
| F-model | 1-2. kvartal 2021 | Bygge forsøgsopstillinger til værtsslagteriet. Opsamling af reference-billeddata. Videreudvikling af vision-løsninger. Videreudvikling af software- og algoritmeudvikling. | Opstillinger på slagteri (midlertidig). Reference-materiale for begge applikationer. Offline verifikationstest af vision-løsninger på relevante referencedata. |
| Prototype | 3-4. kvartal 2021 | Modning af software & algoritmer samt opstillinger. Dialog med værtsslagteri om procedurer ifm. håndtering af materiel med defekter/forureninger. | Realtidseffektive algoritmer og software. Valideringstest af prototyperne på slagteri. |
| 0-serie | NA | NA | NA |