



Års- og slutrapport 2024

KAF Visionudstyr til detektion af slagtekropsforureninger

Projektperiode: januar 2017 til og med december 2024

25. februar 2025

Proj.nr. 2011289

Version: 1.0

NTM/TRSS/MT/JEPA

Baggrund

Det er omkostningstungt og tidskrævende at kontrollere overfladen på store kreatur-slagtekroppe for forekomst af kontaminering som fæces, tarmindehold, hår og anden forurening fra huden.

Kravene til slagteoperatører og kontrollen er allerede store og vil givet stige yderligere. Et visionssystem, som pålideligt kan udpege, hvor der er mulig kontaminering, vil øge kvaliteten og effektivisere processen. I projektet er der arbejdet med udvikling og in-line test af to målesystemer, som kan fungere på en slagtegang.

- 2-kamerasystem til overfladekontrol på bagben tidligt på slagtegang efter afhudning
- 12-kamerasystem til overfladekontrol af halve slagtekroppes yderside sidst på slagtegang



Figur 1. 2-kamerasystem efter afhudning

Målgruppe

Kreaturslagterier.

Værdiskabelse

Hjælpeværktøj til effektivt at sikre et renere produkt og dermed opnå højere fødevaresikkerhed samt en mere effektiv håndtering af kontaminerede slagtekroppe.

Bagben – 2-kamerasystem

I 2017 blev der gennemført en indledende undersøgelse af, hvordan en visionbaseret løsning til detektion af slagtekropsforurening kan skabe værdi på en kreaturslagtelinje. I 2018 blev der udviklet et koncept til detektion af slagtekropsforurening baseret på en 2-kameraløsning til bagben.

I 2019 blev der på baggrund af konceptet udviklet og installeret en prototype, som blev valideret på en slagtelinje.

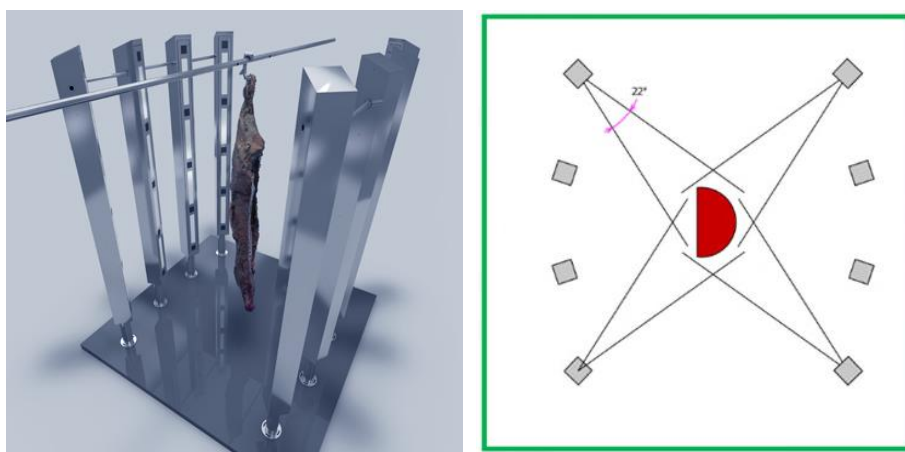
I 2020 blev detektionen forbedret og evalueret. Prototypen er siden blevet brugt i praksis til demonstrationsformål og til at guide en operatør, via en visningsskærm, til en effektiv arbejdsproces ved dampsugning af bagben.

Projektets resultater har dannet grundlaget for udviklingen af et system, som med et større antal kameraer kan kontrollere hovedparten af slagtekroppens yderside.

Helkropyderside – 12-kamerasystem

I 2021 blev konceptet fastlagt, og de første trin til overflademåling af halve kroppe blev taget med installation og dataopsamling fra 3 kameraer i et af 8 BCC-3 tårne¹. Kameraerne blev placeret i henholdsvis top, midt og bund af et hjørnetårn. Der blev optaget billeder af kropsflader af de halve slagtekroppe til brug for optræning af kontaminationsmodeller.

I 2022 fokuserede udviklingen på flere områder: Forbedring af performance-tid for billedanalyse, installation af et system med skærmvisning til udpegning af fund på slagtelinjen samt forbedring af detektionsalgoritmens præcision. Ultimo 2022 blev yderligere 3 kameraer installeret i det modstående BCC-3 hjørnetårn, og en ny vision-computer med større kapacitet blev taget i brug. Det blev gjort muligt for operatøren på touchskærm at angive overset kontaminering og ikke-korrekte fund (falsk positive). Derudover blev der lavet en mindre vurdering af den mikrobiologisk effekt i forhold til holdbarhed.



Figur 2. Frontmatec's BCC-3 system (til klassificering) med de otte kameratårne, der dækker en halv kreaturslagtekrop. Kilde: [Frontmatec's Beef Carcass Grading](#). Skitse til højre viser 4 tårne, hvor kontamineringskameraer er placeret.

¹ BCC-3 er et visionudstyr til klassificering af kreaturslagtekroppe (EUROP-klassificering m.v.), som typisk anvendes sidst på slagtekæden.

I 2023 fokuserede projektet på at videreudvikle algoritmen til at analysere billeder fra 6 kamera i normal drift. Billedanalysen fokuserede på kroppens yderside samt på at forbedre evnen til at finde flere forureningstyper.

I Q2 2024 blev der installeret yderligere 3+3 kameraer, så der i alt er 12 kameraer i de 4 BCC-3 hjørnetårne, som dermed kan dække stort set hele slagtekroppens yderside. Det viste sig påkrævet at foretage en større gentræning af disse kameraer end forventet, og modellerne har derfor først kunnet testes i praksis i fuldt omfang fra november 2024. Modellens resultater er fulgt nøje over 2 måneder. Erfaringerne beskrives senere mere detaljeret, herunder perspektiverne.

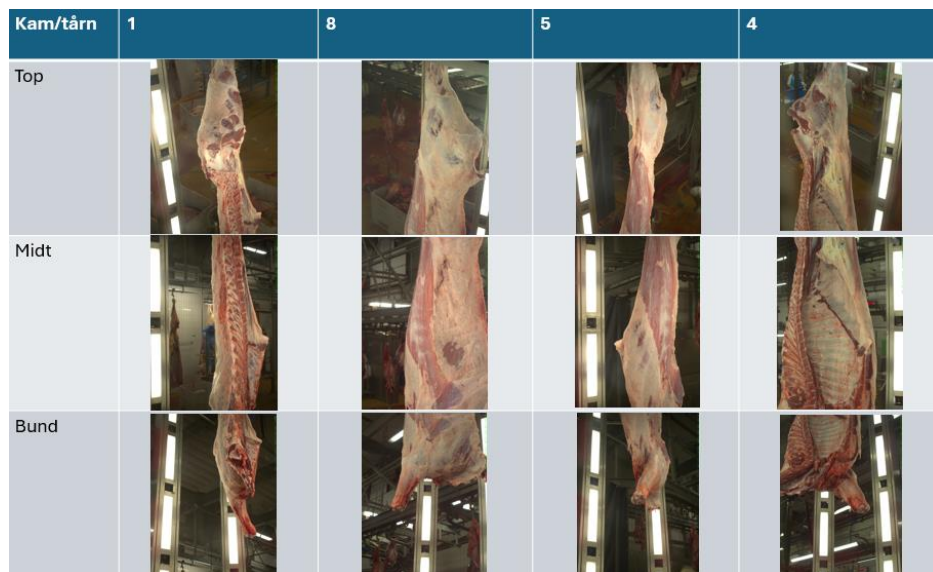
Projektet har mødt stor interesse og opbakning fra værtsslagteriet.

*Overordnet
projektmål
2024*

I 2024 var fokus og formål at forbedre prototypen til detektion af slagtekropforurening med måling på hele kroppens yderside ved installation af i alt 12 kameraer i 4 hjørnekameratårne på BCC-3 med måling og visning i realtid. Systemets driftsstabilitet skulle vurderes over nogle produktionsuger og skulle kunne vise statistiske overblik/udtræk for kontamineringsfund.



Figur 3. Eksempel på BCC-3 tårne fra Frontmatec



Figur 4. Eksempel på billeder af halv krop optaget med de 12 kontamineringskameraer.

Metode og resultater

Både 2- og 12-kameraløsningen består af flg. elementer:

- Farvekamera med høj opløsning (i eget kamerahus med lys for 2-kamerasystem)
- Halvkrop: Billedet tages med kameraer med høj opløsning, hvor hver pixel er ca. 0,2x0,2mm stor (det varierer naturligt noget med kroppens størrelse, vinkel mv.)
- Belysningsløsning typisk diodelys på relevant område (i BCC-3 benyttes eksisterende kameratårn og lys)
- En computer med tilstrækkelig kapacitet til at afvikle kontamineringsmodellen i realtid
- Sensor- eller telegram-trigning af billedoptagelse og visning af fund
- En visningsskærm, der i blå ramme viser, hvor på kroppen de fund sidder, som et eller flere kameraer har registreret
- En kontamineringsmodel, som kan udpege kontaminering og vise resultater i realtid for operatører
- Opbevaring og visning af historiske data og opgørelser

Algoritme-kontamineringsmodel

Detektion af kontaminering på de optagne billeder sker ved hjælp af en avanceret algoritme, der bygger på vision-AI Deep Learning modeller. Deep Learning (DL) modeller er en type af dybe neurale netværk, der har millioner af parametre, og som har vist sig meget velegnede til visionanalyse. Skridtene i algoritmen er beskrevet kort herunder:

Segmentering

For hvert billede bliver pixels opdelt i tre kategorier (baggrund, slagtekrop og kropsdel) ved hjælp af en DL segmenteringsmodel. Opdelingen har til formål at afgrænse den relevante slagtekrop i billedet. Frasortering af baggrunden gør desuden den efterfølgende analyse noget hurtigere, og underopdeling i kropsdele giver mulighed for forskellig behandling af hver del. Eksempelvis bliver inderside (kropskavitet og flækflade) frasorteret i analysen.

Detektion

Til detektion af kontaminering benyttes igen en DL-model. På grund af billedernes størrelse er det nødvendigt at bryde hvert billede op i mindre elementer (patches). For hver patch beregner modellen en sandsynlighed for, at en given pixel indeholder kontaminering. Sandsynlighederne sammenlignes med en tærskelværdi for at nå frem til en klassificering i kontamineret/ikke-kontamineret pixels. Til sidst samles de enkelte patches igen til et helt billede. Dette billede er en logisk maske, der indikerer sandsynlige kontaminerings-pixels.

Filtrering

Det sidste skridt involverer et avanceret størrelsesfilter (konfigurerbart), der grupperer nærtstående pixels og frasorterer små fund. Dette skridt er nødvendigt for at reducere antallet af falske alarmer, der skyldes støj, områder med dårlig belysning og usikkerheder i modellens prædiktioner.

Først laves en indledende gruppering, der samler sammenhængende pixels i "fund". Meget små fund (mindre end nogle få pixels) fjernes, da disse kan skyldes støj i billedet. Herefter grupperes fund i større klynger ud fra individuel afstand. Dette gøres, fordi nogle typer kontaminering kan bestå af mange små individuelle fund, hvor det enkelte fund måske er ubetydeligt, men tilsammen får de en signifikant størrelse. Klyngerne filtreres igen på størrelse for kun at tillade betydelige fund.

Visning af mulig kontamineringsfund

Endelig bliver der indtegnet blå rammer om de tilbageværende fund, som også registreres i systemets registre.

Deep Learning modellerne, der indgår i analysen, er trænet på baggrund af et stort og omhyggeligt annoteret datasæt, der er resultatet af flere års arbejde. Billeder med kontaminering er blevet identificeret, og relevante pixels er blevet annoteret (indtegnet/markeret) som indeholdende kontamination. Disse billeder er blevet vist til modellerne under træning i en iterativ proces, hvor modellerne løbende justerer deres parametre. I hver iteration beholdes justeringerne kun, hvis modellen bliver bedre til at genkende kontaminering.

Træning af DL modeller er et kompliceret og tidskrævende arbejde, der kræver meget data. Datasættet til træningen består af flere tusinde annoterede billeder, men ved udviklingsprojektets afslutning kunne modellerne stadig forbedres tydeligt med tilførsel af mere data.

I forhold til fremgangsmåde, optræning, validering og forbedringsiteration kan suppleres med følgende observationer og erfaringer:

Visionsystemet kan nu køre billedoptagelse og AI-billedanalyse for helkropsdækning i realtid (aktuelt ca. 16 sekunder mellem hver halvkrop), hvor alle 12 billeder analyseres for mulig kontaminering, og de mulige områder med fund udpeges for operatør på skærm.

Skærmen, der viser fund til operatøren, er tilpasset til at håndtere fund fra flere samtidige fund fra det større antal kameraer i 2024. Der er arbejdet med at sikre et drifts-stabilt system samt pålidelig detektion i forhold til præsentation og biologisk variation i kroppe. Desuden er der udarbejdet eksempler på visningsopgørelser, som kan bidrage til optimal håndtering og reduktion af eventuel kontaminering.

Der fokuseres på halvkroppens ydersideflader, som segmenteres ud og adskilles fra baggrunden. Det vil sige, at stort set hele det område, hvor der har siddet hud, er blevet analyseret; således også yder- og inderside fx inderlår, lyske og bugområder.

Der er opbygget et træningsdatasæt på flere tusind halve kroppe, som er minutiøst annoteret for områder med og uden kontaminering.

Ved sin afslutning har udviklingsprojektet en AI-model for kropyderside, som har kørt i drift på over 50.000 halvkroppe med brug af 12 kameraer.

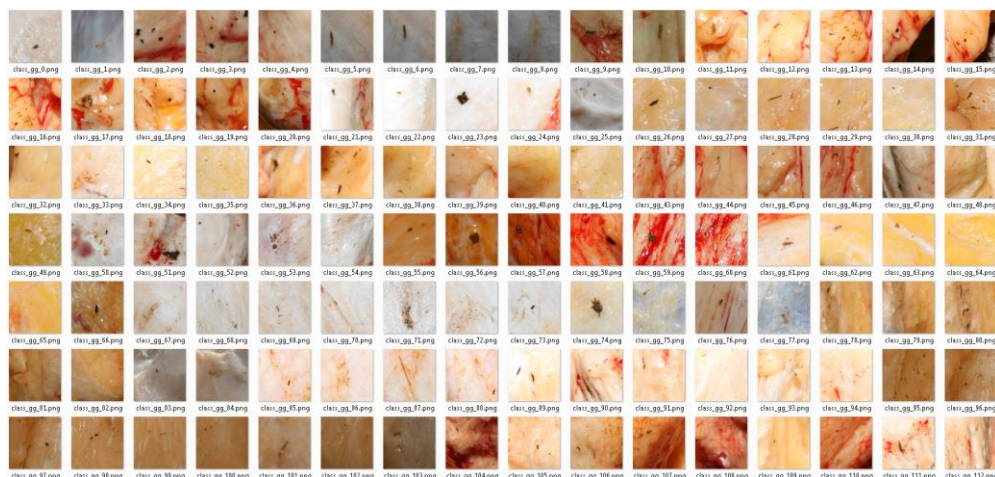
Driften af modellen har været stabil og kun afbrudt af konfigureringer, opdatering eller mindre justeringer.

Risikoen for kontaminering er størst på kroppens yderside, hvor huden har siddet, og hvor slagteprocessen kan medføre risiko for kontaminering ved tilbageslag fra afslagt hud mv. I samarbejde med brugerne er det derfor valgt at fokusere på, at systemet fungerer optimalt her indenfor projektets ressourcer. I slagtekroppens kaviteter, hvor mave/tarm og organer har siddet, samt i flækkeflader kan der også forekomme kontaminering i forbindelse med uundgåelige fejl i slagteprocessen, men disse er mindre hyppige og mere markante end de mindre og udsprede kontamineringer fra opridsning, frislagtning, afhudning og hudeaftrækker.

Modellen kan finde kontaminering i både store og små størrelser og i mange forskellige afskygninger/former.

I systemet er det muligt at konfigurere, hvor stor en kontaminering skal være, før den vises. Erfaringen viser, at sikkerheden i udpegningen falder meget, hvis man går langt ned i størrelse, ud fra det optræningsgrundlag det har været muligt at indsamle og basere modellen på. Det skyldes bl.a., at farvevariation og topografi i en kreaturslagtekropoverflade er meget varierende, hvor toppe, dale, skygge, huller, mindre indsnit i fedtlag, hinder, muskel mv. viser sig at kunne antage næsten samme udseende som en kontaminering. Aktuell valgt visning, hvor kontaminede pixel kan udpeges, svarer til få millimeter (300 pixel, som er ca. 3x4mm), men hvor pixel med fund godt kan være spredt ud over et lidt større område.

En kreaturslagtekrop har en stor overflade med meget forskelligt udseende i struktur og farver. På samme vis udviser kontamineringer meget stor variation i størrelse, placering og udseende. Eksempler på kontaminede overflader kan ses her:



Figur 5. Specialkameraoptagelser af kontaminerede slagtekropsoverflader.

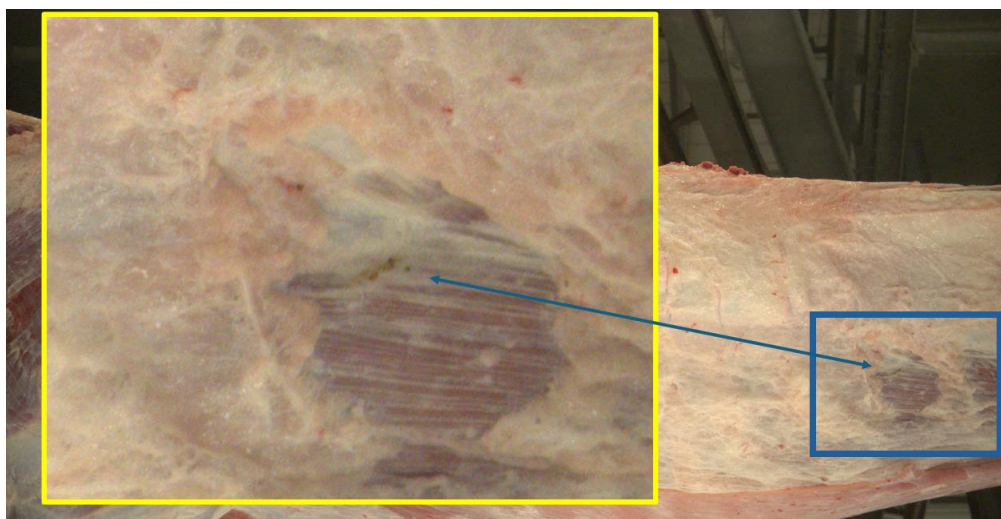
Det er derfor forståeligt, at mindre kontamineringer kan overses af trænedede operatører og kontrollører. Det er her, et målesystem kommer til sin ret. Et eksempel er vist nedenfor:



Figur 6. Er denne overflade ok? eller er der en kontaminering, som skal håndteres?



Figur 7. Målesystemet har udpeget området med blå firkant til kontrol for evt. kontaminering.

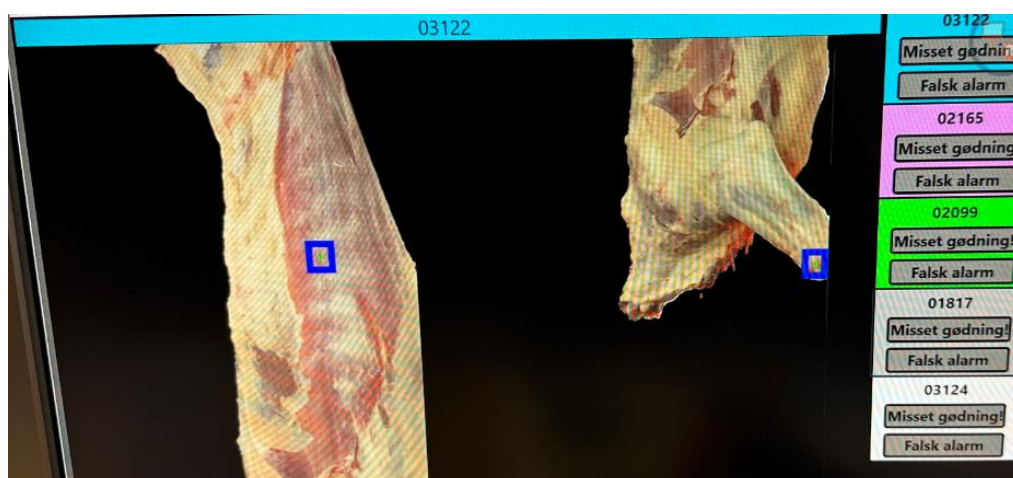


Figur 8. Ved at zoome ind på det blå område bliver det mere tydeligt, at overfladen er kontamineret.

Den brugergrænseflade, der vises på skærmen ved slagtekæden, ses på dette billed-eksempel:



Figur 9. Brugergrænseflade i produktionen, hvor fund er markeret i blå firkant.



Figur 10. Er der formodet kontaminering fra flere kameravinkler, vises alle, her midt og forpart.

Forekomst af flere formodede kontamineringsfund på samme halvkrop kan forekomme og vil variere med de aktuelle slagteprocesser, kontroller og de leverede kreaturer. Det estimeres at være i et omfang på ca. 15% af de halvkroppe hvor der findes kontaminering. I en meget stor del af tilfældene vil der dog være tale om det samme fund, blot set fra de forskellige kameravinkler på grund af nødvendigt overlap mellem kamera.

Der har i 2024 været stort fokus på ny- og re-annotering af data vedrørende kontaminering på varierende kropsbaggrund, en meget stor og omfattende opgave, som er blevet løst. Dette arbejde er betydeligt, da det kræver nøjagtighed og opmærksomhed på detaljer for at sikre, at de nye data er af høj kvalitet og kan anvendes pålideligt i det videre arbejde. Dette er grundstenen i at kunne udvikle en mere præcis detektionsalgoritme. Korrekt annotering – udpegning og markering af reelle fund – er afgørende for at kunne optræne systemet korrekt og reducere antal af falsk positive.

Samtidig er der en løbende proces med at opbygge et 'Golden standard' datasæt. Nye AI-modeller, der bygges, kan nemt afprøves med henblik på at sikre, at de lever op til en såkaldt 'Golden standard', hvilket indebærer en validering mod de bedste og mest pålidelige annoteringer i et tilstrækkeligt omfang, så der kan drages pålidelige konklusioner med statistisk signifikans. Hermed kan man opnå et pålideligt resultat i forhold til, hvordan AI-modellens præcision vil være i daglig drift, da tilstrækkelig naturlig varians er inkluderet i Golden standarddatasættet.

Valideringsprocessen af opdaterede modeller sikrer, at de er robuste, præcise og klar til brug inden praktisk anvendelse.

Der er arbejdet mod at opnå et tilstrækkeligt datasæt, som indeholder billeder fra alle 12 kameraer, hvor der er fundet kontaminering, som kan bruges til optræning af detektionsformel. Udfordringerne er dels:

- stor biologisk variation i slagtekroppes køn, alder, race, størrelse, form, fedme, fedt- og kødfarve, hinder, huller, kanter, skygger, folder, indsnit, blodudtrædning mv. – som giver en ekstremt varieret baggrund
- orientering af den halve krop ved måling, som i praksis kan variere noget, på det tidspunkt billeder tages. Afhængig af type og slagteproces giver det lidt forskellig vinkel og lysforhold
- Usikkert referencedata. Det er ofte vanskeligt at skelne kontaminering fra den varierende kropsbaggrund. Dette er sandt både for uddannet personale på slagte-linjen og for annotører, der arbejder med billedmateriale alene. Der er derfor en kendt risiko for, at kontaminering kan blive overset, og at ufarlige strukturer ses som og bliver annoteret som kontaminering

Tidligere i projektet er der undersøgt modeller for inderkaviteten dvs. bughule og flækkeflade mv. Disse har dog været vanskelige at implementere, da det ikke har været muligt at opnå tilstrækkeligt datamateriale.

I forhold til forekomst af hår, dvs. enkeltstående hår og hårsamling, som er mørke og kan ses på billedet, så er de forholdsvis sjældne og dermed vanskelige at implementere i en model. I 2024 er der dog detekteret nogle fund af hår, ligesom kontamineringer på kødflader er blevet bedre.

Ikke reelle fund og overset kontaminering

Mens der er vis tendens til, at modellen kan forveksle nogen forekommende rene områder med kontamineringer, som ikke er reelle (falsk positiv fund), fordi de i udseende er meget ens, synes det med de aktuelle modelindstillinger at være muligt at fange de fleste større kontamineringer på trods af stor variation i udseende. Det vil sige, at modellen ikke overser meget.

I et tilfældigt udtræk på 40 kropshalvdele blev i alt 480 billeder kontrolleret for, om kontaminering var blevet overset. Her blev der fundet 4 billeder, hvor der sandsynligvis var område med en mulig kontaminering, og 4, hvor det var usikkert, om der var tale om kontaminering eller ej. For begge typer var de under den aktuelt brugte tærskel på 300 pixel.

Det er dog ikke realistisk, at systemet vil kunne udpege alt, dels er det begrænset af, hvor mange funddata, der har kunnet opnås i udviklingsperioden til modeltræning, dels er der den store biologiske variation i slagtekroppe og procesvariation samt den faktiske præsentation ved målingen, som kan medføre, at modellen er "blind" for visse typer kontaminering. Nye typer, eller typer på ikke tidligere set baggrund, kan dog med en mindre indsats bruges til at forbedre modellen over tid. Det vil kræve, at operatører, som benytter løsningen, systematisk registrerer overset kontaminering og placering, at data valideres, og at modellen efterfølgende optimeres i en ny iteration.

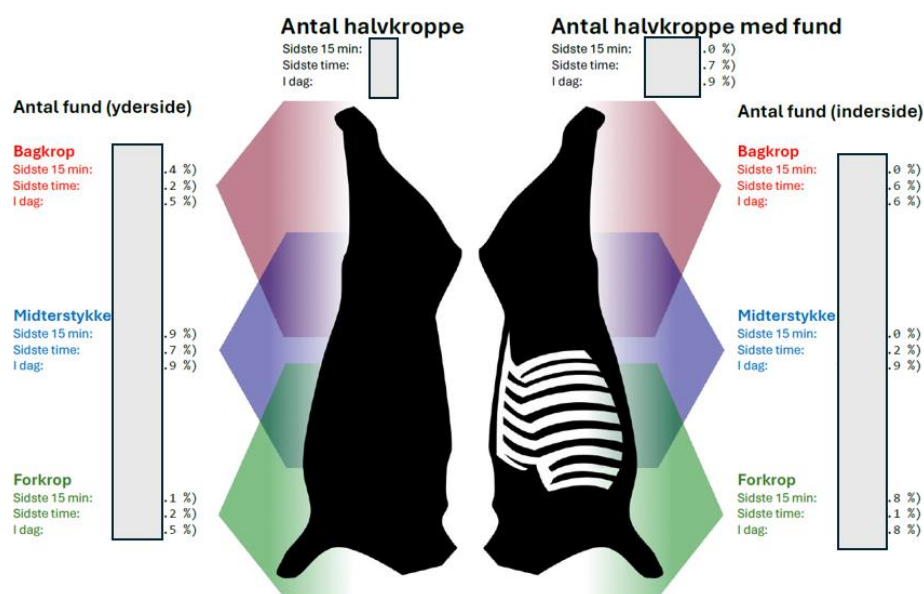
Anvendelse

Udover visningsskærm på slagtekæden (primær brugerflade) er der arbejdet med forskellige overviews til at præsentere data på overskuelig vis.

Den simpleste opgørelse af resultater fra målesystemet og opfølgning er at følge det samlede antal fund af formodede kontamineringer i forhold til antallet af dyr slagtet per dag.

De leverede dyr og den dagsaktuelle proces og slagtehygiejne vil variere. Men de processer og kontroller, der benyttes på slagtegangen, og som korrigerer eventuelle kontamineringer, inden de når målesystemet, synes forholdsvis konsekvent at resultere i, at det, som målesystemet finder, ligger relativt konstant med få procents afvigelse mellem dage.

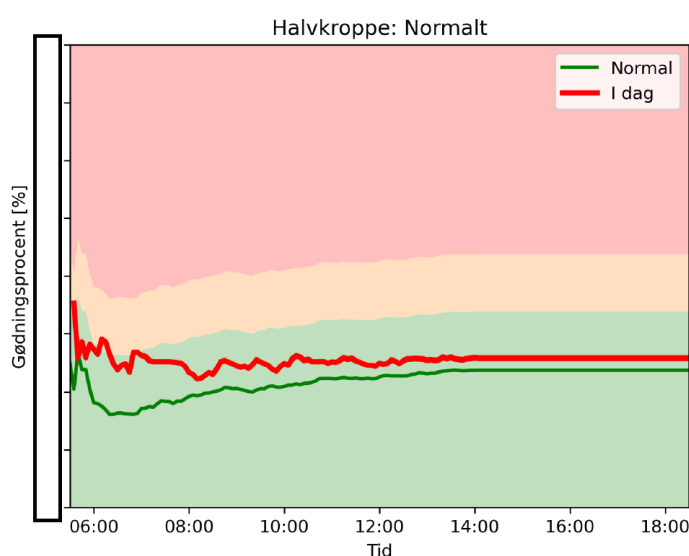
En mere detaljeret opgørelse viser, hvor kontaminering er placeret (bag-, midt- eller forkrop), og på hhv. inder/yderside. Se eksemplet nedenfor.



Figur 11. Statistisk overblik over placering af formodet kontaminering, total og per kropsdel. Inderside er baseret på resultater fra 3 kameraer i tårn 1, mens yderside er fra øvrige tårne.

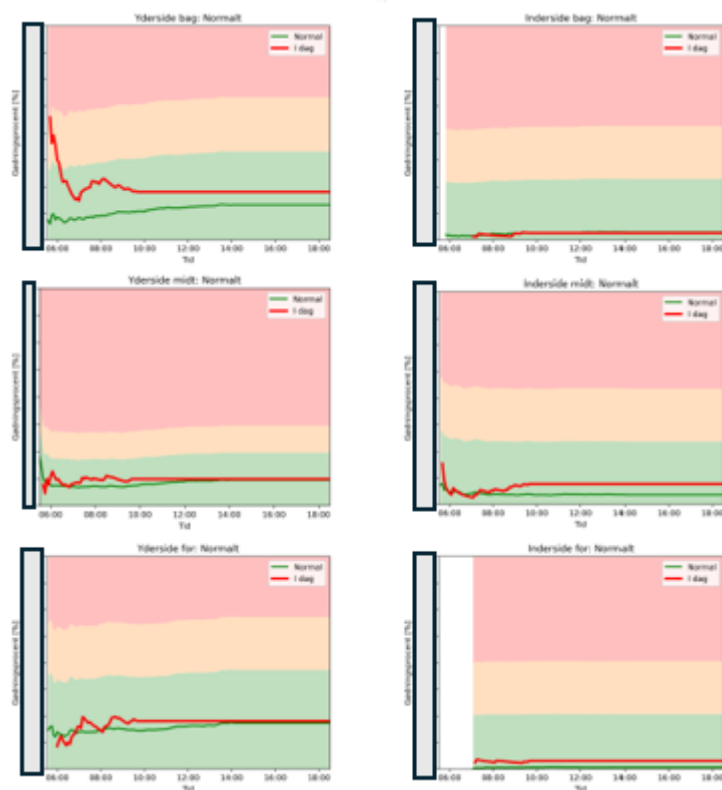
Kroppene er ikke altid orienteret helt ens i forhold til conveyorretning (kameraerne), når billeder tages (påvirket af type og slagteproces). Ligeledes er der et vist uundgåeligt overlap mellem kameraer, hvorfor tendenser udledt af disse views skal baseres på et betydeligt antal halvkroppe for at være retvisende.

Et alternativt view er visning af mulige kontamineringsfund over en slagtedag i forhold til de historisk forekommende niveauer. Tilgangen her er, at en sådan rapport kan udpege, hvis slagteprocessen synes at komme ud af styring og kræver ekstra opmærksomhed og indgriben. Det kunne fx være ved modtagelse af partier af særligt beskidte kreaturer, fejl i udstyr og processer eller operatører under oplæring.



Figur 12. Visning af dagens procentuelle formodede kontamineringer i forhold til historisk normalniveau (alle kameraer), her indlagt med forslag til tærskel for let forhøjet (gul) og meget forhøjet niveau (rød baggrund).

Oversigten kan også opdeles som nedenfor med opgørelse over, hvor mulig kontaminering er placeret (bag-, midt- eller forkrop) og inder-/yderside.



Figur 13. Samme opbygning som i foregående figur med visning af dagens procentuelle formodede kontaminering i forhold til historisk normalniveau, men opgjort per kropsdel. Inderside er baseret på resultater fra 3 kameraer i tårn 1, mens yderside er fra øvrige tårne.

Der er bl.a. arbejdet ud fra en betragtning, hvor der kan benchmarkes med den normale drift. Fx er i dag anderledes end i sidste uge, sidste time og det aktuelle sidste kvarter?

Da slagtekroppenes størrelse varierer meget, ligesom deres orientering kan variere, når billeder tages, er det dog ikke umiddelbart let at lave systemer til mere præcis analyse af, hvor fund præcist er lokaliseret på kropshalvdelen, fx for en mere systematisk udredning af deres mulige oprindelse. Koordinater for fundet i billedet er kendte, men de kan betyde noget ret forskelligt fra krop til krop som følge af vinkel ved billedoptag, kropsstørrelse og -type, slagteproces mv.

Konklusion/diskussion

Det er lykkedes at udvikle 2 prototype-løsninger, som fungerer på slagtelinjer i realtid. Kameraer optager billeder af kropsdele, som analyseres for mulig kontaminering, der udpeges for operatør, dels en løsning med fokus på bagben (2 kameraer) lige efter afhudning, dels en måling på yderside af halve slagtekroppe med 3 kameraer i hver af 4 tårne ved klassificering af slagtekrop (i BCC-3).

Der er opnået en tilfredsstillende præcision for detektionsalgoritmen som optrænet på de tilgængelige billeder med fund og afprøvet i drift efterfølgende.

Grundet den biologiske variation i slagtekroppe, kontamineringsvariation samt opnået omfang af fuldt annoterede billeder, som modellen er bygget på, er der indbygget en tilbøjelighed til at udpege flere områder for kontrol, end der faktisk har kontaminering, som skal håndteres. Omfanget vurderes dog som håndterbart og at foretrække, frem for at eventuel kontaminering overses.

Som system og løsning betragtes teknologien som et stabilt og praktisk redskab og hjælpeværktøj, som kan bidrage til høj kvalitet i en slagteproces, en effektiv kontrol og ved brugen en større sikkerhed for, at evt. kontaminering findes og fjernes allerede på den varme slagtekrop, hvor den er nemmest og bedst håndteret.

Det vurderes muligt at forbedre systemet yderligere ved et større datagrundlag end rammerne i projektet har tilladt. Herved forventes, at visse falsk positive fund vil kunne reduceres noget.

Der er arbejdet med statistisk dataoverblik, som giver input til værtsslagteriet i forhold til en mere overordnet vurdering af forekomsten af kontaminering. Data overblik kan udnyttes til mere systematisk tiltag for en reduktion, og kontrol af mulige tiltag for at undgå at kontaminering opstår og de effektivt fjernes i slagteprocessen.

Kontaktinformation Projektleder Niels T. Madsen ntm@teknologisk.dk
Bæredygtighed og Digitalisering
DMRI, Teknologisk Institut
Tlf. 7220 2690

Andre deltagere i projektet fra Teknologisk Institut, DMRI:

Rikke Hjort Hansen
Jeppe Bo Andersen
Troels Suhr Skovgård
Maria Allentoft Nicolaisen
Ivan Perch-Nielsen
Glenn Gunnar Brink Nielsen
Lau Nielsen
Ole Ryding

Frontmatec, Smørum har medvirket omkring montering og kabling af kameraer.

Værtsslagteriet har faciliteret adgang til BCC-3 teknikrum og assisteret med kabling, montering af visningsskærm mv. samt indgået i meget konstruktiv dialog om tilpasning af system i forhold til den praktiske brug og behov. Slagteriet har ligeledes finansieret nogle af kameraerne.

Projektet er finansieret af Kvægafgiftsfonden, som har fulgt det tæt. Scan Sverige AB (tidligere HK Scan) har ligeledes bidraget til finansieringen.