



# Slutrapport

## Sporbarhedsteknologi

### AP2. Automatisk registrering af leverandørnummer og kønskode

25. januar 2024  
P2010400\_SAF 43  
Version 1.0  
GLN/MT

#### *Baggrund*

Virksomhedernes behov for sporbarhed stiger i takt med, at flere processer automatiseres, og der ønskes en mere fleksibel produktion. Desuden skal råvaren udnyttes optimalt, og der skal produceres med størst mulig effektivitet og længst mulig holdbarhed.

På de danske griseslagterier sikres sporbarheden til leverandøren primært ved, at leverandøren mærker grisene, som skal leveres, med sit femcifrede leverandørnummer i form af en skinketatovering.

På nuværende tidspunkt er registreringerne af leverandørnummer og kønskode krævende for operatøren, hvilket medfører risiko for fejlhåndtering og fejlregistrering. Automatisk registrering af leverandørnummer og kønskode vil potentielt både effektivisere driften og forbedre registreringssikkerheden. Desuden vil et automatisk system give mulighed for at forbedre sporbarheden via den digitale information om den enkelte leverandørs grise.

#### *Overordnet projekt-mål*

At udvikle og teste en løsning til automatisk registrering af leverandørnummer og kønskode, som er tilstrækkelig præcis og robust, også i forhold til fejlsituationer, til at kunne godkendes af interessenterne. Løsningen skal kunne idriftsættes på slagterierne i forlængelse af projektaktiviteterne i 2024.

#### *Målgruppen*

Slagterier.

#### *Algoritme- og pipeline-forbedringer*

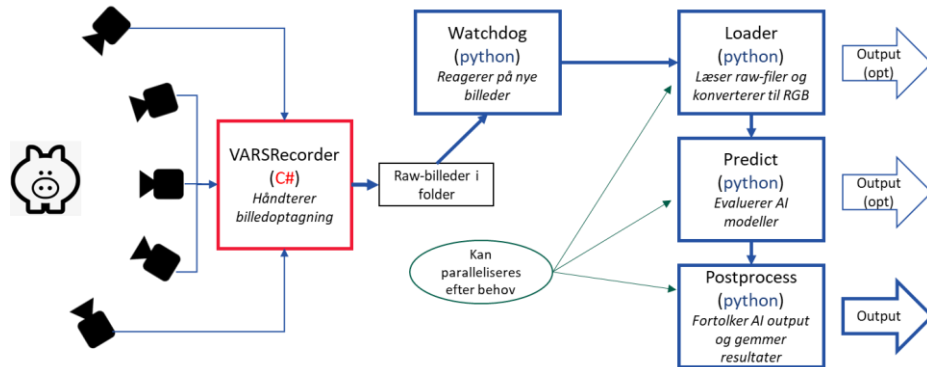
Udgangspunktet for gennemførelse af projektets målsætning var først at optimere og retablere den eksisterende kamerainstallation på værtsslagterier. Derfor blev der installeret to nye lamper, og et af kameraerne blev flyttet til en position, der var mindre udsat i forhold til kollision med slagtekroppene under daglig drift.

Desuden blev der udviklet en stabil software-pipeline til analyse af billeder fra de fem kameraer. Pipeline er visualiseret i figur 1. Den udviklede pipeline består af følgende elementer:

- Watchdog-modul, der detekterer, når nye billeder bliver skrevet til disken og dernæst påbegynder analysen.
- Loader-modul, der indlæser de rå billedfiler og konvertere fra raw-format til RGB pixelformat.
- Prædiktionsmodul, der anvender de relevante neurale netværk til prædiktation af tatoveringstal og kønskoden ud fra billederne.

- Postprocesseringsmodul, der kombinerer resultatet fra de fem billeder og kommer med det endelige resultat.
- Konfigurationssystem, der gør det muligt at tilpasse analysen til den enkelte installation.
- Et logsystem, der rapporterer relevante steps i analysen til logfiler på disken, som muliggør fejlfinding i forbindelse med nedbrud.

Efter test over flere måneder har pipelineen vist sig at være stabil. Desuden har pipelineen bidraget til 30% reduktion i analysetiden for hver gris.



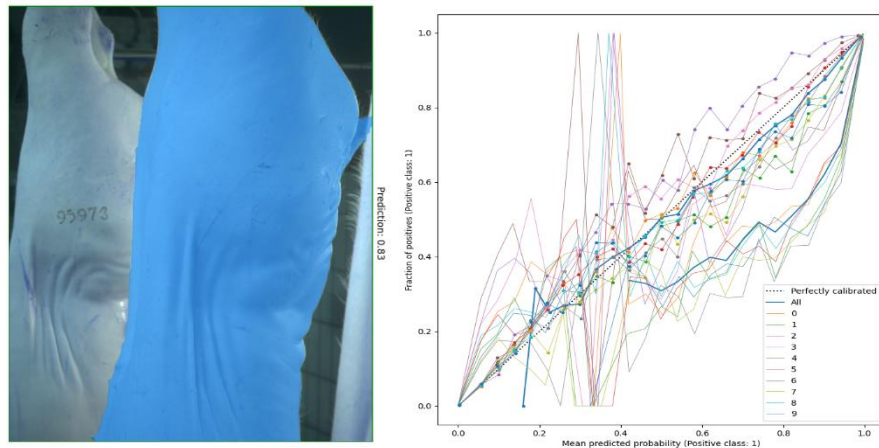
Figur 1. En skematisk præsentation af elementerne i softwarepipelineen udviklet til analyse af billederne fra de fem kameraer.

I projektet er de situationer, hvor algoritmen til detektion af leverandørnummer kommer med forkerte bestemmelser, blevet gennemgået. Derved er der fundet frem til en række af de mest hyppige algoritmerelaterede fejlsituationer og efterfølgende lavet forbedringer for at minimere algoritmens fejl i disse situationer. De gennemførte forbedringer er:

- **ROI-netværk:** Når der er grise på hver dropfinger, vil flere grise være til stede i kameraernes billedfelt. En region-of-interest (ROI)-baseret metode anvender et supervised neuralt netværk til at segmentere de rigtige grise ud – se figur 2.
- **180° rotation:** En typisk fejl er 180° forkert rotation af tatoveringsområdet, som sendes til ciffergenkendelsesnetværket. Der er implementeret en metode til reduktion af denne type fejl ved både at beregne cifre på den mest sandsynlige rotation og denne rotation plus 180°. Dernæst vælges den af de to rotationer, hvor der kan genkendes flest cifre med højest score.
- **Kalibrering af scores:** Softmax-scores fra ciffergenkendelsesnetværket er ikke kalibrerede og repræsenterer derfor dårligt den rigtige sandsynlighed. For bedre at kunne anvende scores fra systemet til at repræsentere kvaliteten af en given automatisk aflæsning er der gennemført en kalibrering med relevante statistiske metoder – se figur 2.
- **Fragmentkombination:** Kombinationen af de enkelte cifrefragmenter fra de automatiske aflæsninger fundet på hvert billede til en endelig automatisk aflæsning af tatoveringen er blevet forbedret ved i højere grad at benytte

sandsynlighederne for de enkelte cifre, som ciffergenkendelsesnetværket bidrager med.

- **Forbedret metode til anvendelse af historisk information:** Implementering af en ny metode til at anvende det historiske forløb fra tidligere aflæste tatoveringer til at komme med en bedre automatisk aflæsning. Den nye metode anvender historiske data fra systemet til at give de seneste leverandørnumre højere prioritet til match, medmindre der observeres høj edit-distance i forhold til tidligere, leverede grise og høj sikkerhed.



**Figur 2.** Til højre ses eksempel på resultatet fra region-of-interest-løsningen, og til venstre ses eksempel på ikke-kalibrerede og kalibrerede sandsynligheder.

### *Analyse af fejlsituationer og løsningsstrategier*

Projektet har analyseret og identificeret potentielle fejlsituationer, der kan opstå i forbindelse med anvendelse af algoritmen til det automatiske registreringssystem for leverandørnummer og kønskode. Der er blevet udarbejdet en liste over mulige fejlsituationer for det automatiske registreringssystem, med fokus på hardware og tatoveringskvalitet.

Hardwarerelaterede fejlsituationer:

- Strømafbrydelse: Hvis strømmen går, vil systemet gå ned, og registreringen stoppe. Dette medfører nedetid og datatab.
- Defekt kamera: Hvis kameraet går i stykker eller mister netværksforbindelse, vil billeddata ikke kunne overføres til algoritmen, hvilket forhindrer registrering.
- Beskidt kamera: Snavs, fedt eller ridser på kameranlinsen vil forringe billedkvaliteten og gøre tatoveringerne sværere at aflæse.
- Forkert rotation af gris: Hvis grisen ikke hænger optimalt, kan det være vanskeligt at identificere tatoveringer, især dem på skinkerne.

Tatoveringskvalitetsrelaterede fejlsituationer:

- Spejlvendte cifre: Algoritmen er ikke designet til at tolke spejlvendte tatoveringscifre, hvilket vil resultere i fejl.
- Dobbelttatoveringer: Overlap af flere tatoveringer på samme sted vil forvirre algoritmen.

- Langhårede grise: Hår kan skjule eller sløre tatoveringer og dermed forårsage fejl.
- Utydelige tatoveringsstempler: Hvis stemplerne er slidte eller beskadigede, kan tatoveringerne være utydelige eller mangle dele (fx manglende tænder på et tal), hvilket vanskeliggør korrekt aflæsning.
- Manglende tatovering: Hvis grisen helt mangler en tatovering, vil algoritmen ikke kunne aflæse identifikationsnummeret.



I samarbejde med projektets følgegruppe blev manglende tatovering, dobbelttatoveringer og utydelige tatoveringsstempler udvalgt som de vigtigste fejlsituationer.

For at håndtere problematikker med manglende, dobbelte eller utydelige tatoveringer har projektet implementeret et automatisk fejlkodesystem i registreringsalgoritmen. Systemet gennemfører den automatiske aflæsning, og vurdering af tatoveringernes kvalitet kan danne basis for at markere manglende, overlappende eller utydelige tatoveringer med koder.

Det vil efterfølgende være muligt at undersøge og rette fejlene manuelt. Samtidig vil alle fejlkoder blive logget med relevante oplysninger, så årsager kan analyseres og afhjælpes. På denne måde kan problematiske tatoveringstilfælde håndteres smidigt, uden at gå ud over systemets overordnede effektivitet.

#### *Analyse af hardware-muligheder*

Projektet har undersøgt forskellige hardwaremuligheder til systemet til automatisk registrering af leverandørnumre og kønskoder på slagterier. Formålet var at finde den mest omkostningseffektive løsning, som lever op til kravene om billedkvalitet, hastighed og robusthed.

Valg af hardware afhænger af faktorer som billedkvalitet, belysning, linser, hastighed, robusthed, integration, skalerbarhed og omkostninger. Det nuværende valg er et Basler-kamera med 5 MP-opløsning og global lukker, som giver skarpe billeder. Kameraet er beskyttet af et støbt stålhus fra autoVimation, som er IP66/67-klassificeret og kan modstå slagteriets barske miljø.

Et alternativ kunne være et integreret overvågningskamera som fx Axis Q1798-LE, hvilket ville reducere den samlede pris. Dette ville dog give en mindre robust løsning, som kunne have svært ved at fungere stabilt over tid.

Konklusionen er, at Basler-kameraet med stålhus foretrækkes frem for et billigere alternativ, da robusthed og driftssikkerhed prioriteres højere end pris for dette system.

## Langtidstest

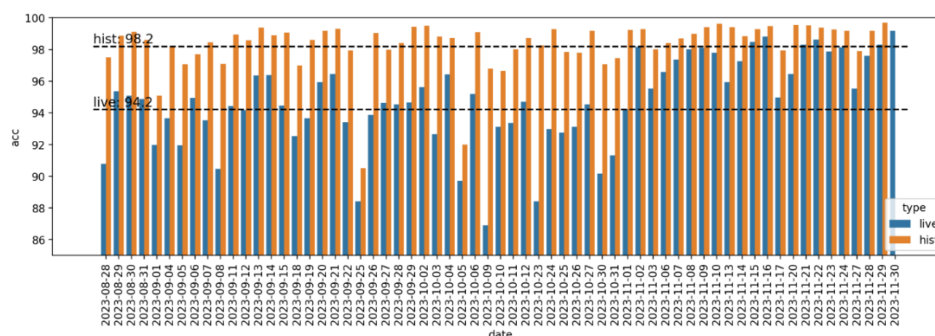
Der er gennemført en langtidstest, som består af tre deltests. Da der er tale om data fra en kortere og afgrænset periode, som anvendes i langtidstesten, kan data fra denne test ikke bruges til at udtale sig om aktuelle forhold for præcisionen i den manuelle aflæsning ved værtsslagteriet.

**Deltest 1** undersøger systemets langtidsstabilitet under reelle driftsforhold på slagteriets produktionslinje over en periode på 3 måneder. Testen logger løbende den automatiske aflæsningspræcision, samler manuelt indtastede data og noterer uregelmæssigheder. Formålet er at vurdere, om systemet er egnet til permanent implementering. Se figur 3 for resultatet af målingen af systemets præcision gennem testperioden.

**Deltest 2** tester nøjagtigheden af den automatiske aflæsning af leverandørnumre. Over en måneds kontinuerlig drift sammenlignes de automatiske aflæsninger med manuelle aflæsninger fra slagtelinjen, og der gennemføres yderligere manuel verifikation af et repræsentativt udsnit af grisene. Dette giver et estimat af den samlede præcision. Se figur 4 for en opsummering af den samlede præcision af automatiske aflæsninger af leverandørnumre fra testen.

**Deltest 3** vurderer præcisionen af automatisk aflæsning af kønskoder ved at sammenligne med manuelle aflæsninger af 1.000 tilfældigt udvalgte billeder over en 3 ugers periode. Præcisionen kvantificeres ved at beregne overensstemmelsesprocent, fejlrate og confusion-matrix. Se tabel 1 og tabel 2 for de resulterende confusion-matrixer, der blev fundet i testen.

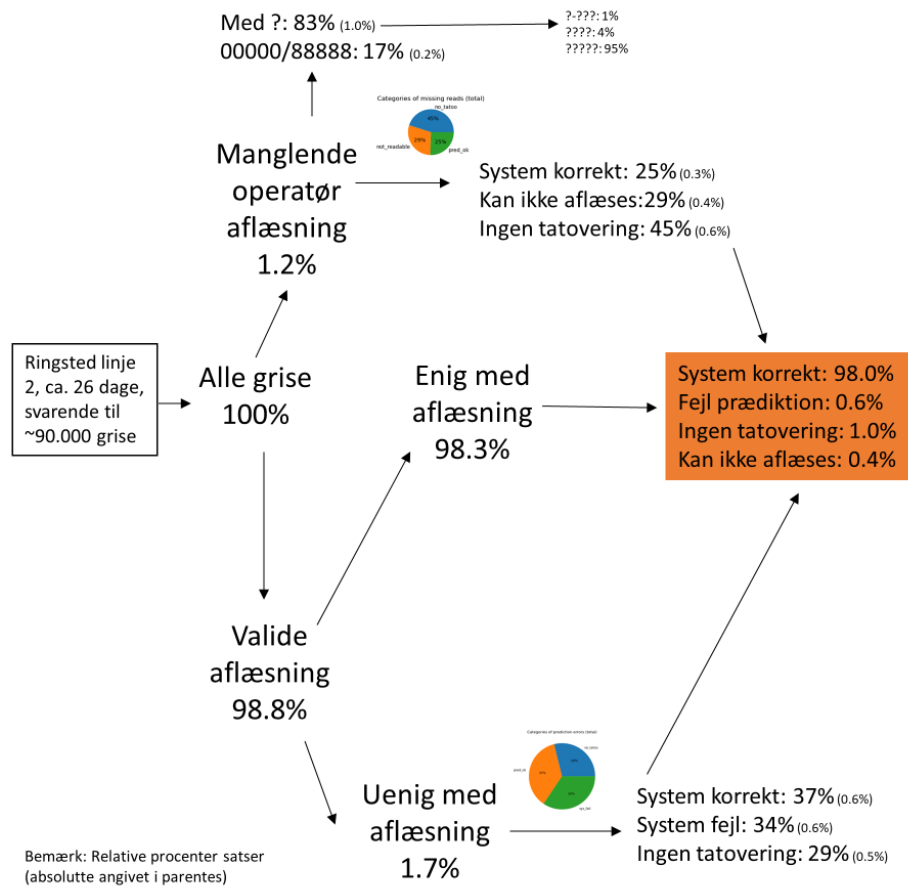
De tre deltests undersøger således systemets langtidsholdbarhed, leverandørnummeraflæsningens nøjagtighed samt kønskoderaflæsningens præcision under reelle driftsforhold. Tilsammen giver de et fyldestående billede af ydeevnen.



**Figur 3.** Sammenligning af systemets præcision med de manuelle indtastninger på daglig basis.

live: forudsigelsen baseret på enkeltbilleder

hist: præcisionen, hvor det historiske forløb af leverede grise også anvendes i forudsigelsen.



Figur 4. Den samlede opgørelse af fejlfordelingen for leverandørsystemet baseret på de to manuelle gennemgange af fejlfraktioner og de manuelle observationer udført på linjen.

Tabel 1. Confusion-matrix for sammenligningen af den automatiske algoritme (predicted) og det ud fra billederne verificerede køn af grisene (True).

**Validering af algoritmen(\*):**

		True		
		So	Galt	Hangris
Predicted	So	460	1 (+2)	0
	Galt	5 (+1)	406	0
	Hangris	0	0	199

**Tabel 2.** Confusion-matrix for sammenligning af det aflæste køn på slagtelinjen (Observed) og det ud fra billederne verificerede køn af grisene (True). \*) Ved samples, hvor køn ikke kan afgøres ud fra billedet, antages observationen på linjen at være korrekt (3 billeder ud af 1032).

#### Validering af observationer(\*):

		True		
		So	Galt	Hangris
Observed	So	456	17	3
	Galt	6	393	3
	Hangris	4	0	193

Den gennemførte langtidstest af computervisionsystemet til automatisk registrering af leverandørnumre og kønskoder har givet indsigt i både systemets driftsstabilitet og præcision.

Over en periode på 3 måneder viste systemet to hændelser af nedbrud, der førte til tab af data, hvilket indikerer nogen robusthed, men også et behov for yderligere test og forbedringer ift. de daglige driftsbelastninger på et slagteri.

Præcisionstesten af leverandørnummeraflæsning viste, at 99,0% af systemaflæsningerne var korrekte eller helt uden tatovering. Kun 0,6% var deciderede fejlaf-læsninger, mens de resterende uoverensstemmelser skyldtes ulæselige tatoveringer.

Tilsvarende opnåede systemet en præcision på 99,2% for kønskodeaflæsningen, hvilket matcher eller overgår den manuelle aflæsning på linjen.

De positive resultater indikerer, at systemet har potentiale til at forøge datakvaliteten og på sigt også fører til forbedringer af effektiviteten. Der bør dog fortsat fokuseres på at forbedre systemets evne til at håndtere manglende eller utydelige tatoveringer samt yderligere driftsstabilitet af systemet.

#### *Integration og afprøvning af system med slutbruger*

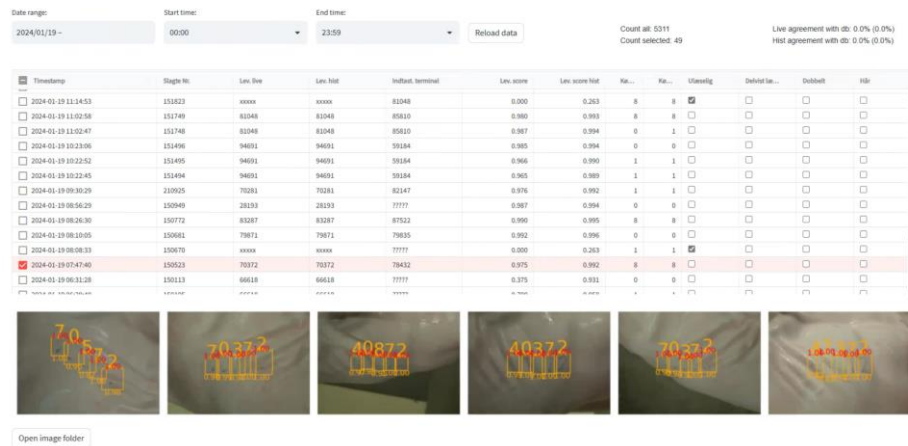
For at få feedback på systemet og indsamle viden om den praktiske anvendelse blev der gennemført en fælles afprøvning med en mulig fremtidig bruger af teknologien. Formålet med afprøvningen var at afhjælpe konkrete tekniske udfordringer undervejs og blive klogere på interface og funktionalitet set fra brugers perspektiv.

Under afprøvningen testkørte brugeren systemet og anvendte systemet til at rette fejl i de manuelle aflæsninger efter behov. Der blev samtidig udarbejdet et første udkast til en manual, som beskriver funktionerne i systemets web-interface. Manualen vil senere blive videreudviklet som led i implementeringen af teknologien.

I tilfælde, hvor systemets automatiske aflæsning var i tvivl pga. utydelige tatoveringer, blev der indhentet billeddokumentation. Systemet gav efterfølgende mu-

lighed for at downloade og gennemgå billedokumentationen for at afklare den korrekte fortolkning. Denne fremgangsmåde viste sig effektiv til at håndtere tvivlstilfælde.

Samlet set gav afprøvningen med en mulig slutbruger værdifuld indsigt i den praktiske anvendelse af systemet og interface. Brugerens input og rettelser vil blive inddraget i den videre udvikling og forberedelse til implementering på slagterier.



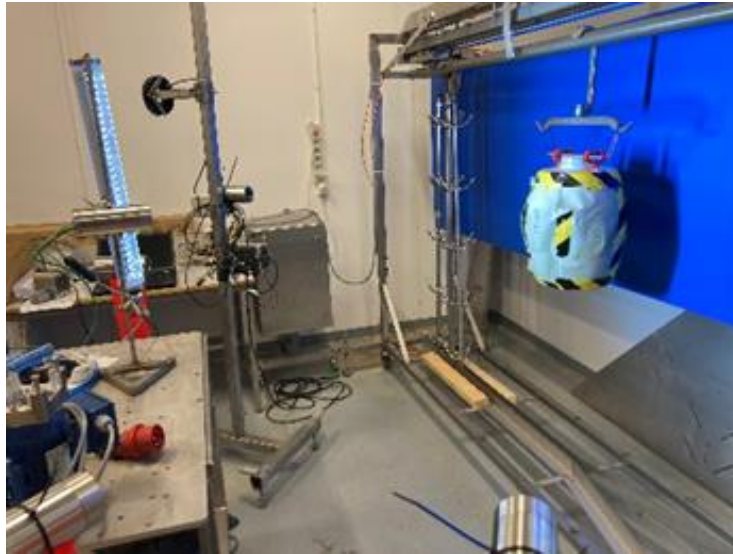
Figur 5. Afbildning af det web-interface, der blev udviklet til løbende at kunne overvåge systemet samt til gennemførelse af afprøvning af systemet med en slutbruger.

Projektet har gennemført en integration af systemet til automatisk aflæsning af leverandørnumre til slagtegangssystemet. Således sendes de aflæste tatoveringer fra systemet, og for hvert hængejern, der passerer igennem systemet, gemmes det automatisk aflæste leverandørnummer i slagtegangsdatabase på værtsslagteriet.

### Morgenkontrol

Projektet har startet udviklingen af en automatiseret morgenkontrolprocedure for det computervisionsystem, der anvendes til aflæsning af tatoveringer på slagteriet. Formålet er at sikre, at kamera, belysning og software fungerer korrekt inden dagens produktion.





**Figur 6.** Viser det udviklede testfantom, som bliver afbildet af en række kameraer tilsvarende systemet som er opsat hos værtsslagteriet.

Der er udviklet et testfantom i grisestørrelse med tatoveringsprint, som kan monteres entydigt i systemets synsfelt. I en testopsætning kan kameraerne afbilde fantomet. De næste skridt i udviklingen af morgenkontrollen vil være at verificere, at den automatiske aflæsning kan genfinde den printede tatovering. Dernæst skal der gennemføres en softwareintegration, hvor en procedure for analyse af fantomet og formidling af resultatet udvikles. Morgenkontrollen er et vigtigt værktøj til at opretholde tilliden til de automatiske målinger og sikre korrekt opstart af systemet hver dag.

### *Opsummering*

Der er udviklet og testet et computervisionsystem til automatisk registrering af leverandørnumre og kønskoder på slagterier. Formålet har været at effektivisere processen og forbedre datakvaliteten.

Der er opbygget en stabil softwarepipeline, som analyserer billeddata fra fem kameraer. Pipelineelementerne omfatter bl.a. genkendelse af tatoveringstal og kønskoder baseret på anvendelse af neurale netværk. Der er implementeret forbedringer målrettet identificerede fejlsituationer, fx utydelige tatoveringer.

En langtidstest over tre måneder viste, at systemet opnår en høj præcision for både leverandørnumre og kønskoder. Dette matcher eller overgår den manuelle nøjagtighed. Der er foretaget brugerprøvning og påbegyndt integration til slagteriets eksisterende IT-systemer. Udviklingen af et testfantom til daglig funktionskontrol er også påbegyndt.

Projektet har demonstreret et lovende automatisk registreringsystem med potentiale til at øge sporbarhed, datakvalitet og effektivitet. De positive resultater kan danne grundlag for en egentlig implementering på slagterier efter projektperiodens udløb.