



KAF – Årsrapport 2025

Automatisk udbyttekontrol ved måling af kød på benbånd

Peter René Bolvig Stentebjerg (projektleder)

19. marts 2026

Proj.nr. 2012314

Version 1.1

Init.: PESG/MT/OLR

Indledning

Dette projekt er finansieret af Kvægafgiftsfonden under indsatsområdet "Bæredygtighed". Projektet gennemføres af Teknologisk Institut, DMRI.

Projektet er udsprunget af tidligere erfaringer fra bl.a. projektet "Bone Belt Monitoring" (2021-1175) støttet af den australske fond: *Australian Meat Processors Corporation* (AMPC). Projektet blev gennemført af Teknologisk Institut i perioden juni 2021 – maj 2022, hvor det i offline-tests blev påvist teknisk muligt at genkende forskellige benprodukter samt estimere mængden af kød på ben gennem moderne vision- og softwareteknologier.

Projektperioden er planlagt flerårig og strækker sig fra januar 2024 til december 2026, hvor de væsentligste aktiviteter i det første år (2024) fokuserede på design, udvikling og opstilling af testudstyr på et udvalgt værtsslagteri, mens omdrejningspunktet for andet år (2025) har været udvikling og test af algoritmer til billedanalyse baseret på kunstig intelligens. Projektet sigter mod at digitalisere og effektivisere udbyttekontrollen i slagteribranchen gennem automatiseret visionteknologi og AI-baseret software.

Projektets rammer (år 2025) er beskrevet i ansøgningen til Kvægafgiftsfonden fra 2024.

Formål og projektcase

Formålet med projektet er at udvikle og demonstrere en in-line visionløsning til at måle og estimere mængden af kød på knoglerne på benbåndet for dermed at kunne foretage en automatisk udbyttekontrol af en række udvalgte produkter fra udbeningen. Målsætningen er at bidrage til en fastholdelse af et højt udbytte under produktionen samt sikre en minimering af udsving under skæreprousserne gennem kontinuerlig digital overvågning med visionteknologi.

Baggrund og udfordringer

Udbeningsprocessen har stor betydning for både kvalitet og udbytte af slagteriets udskæringer i forhold til de skærespecifikationer, som operatørerne skal følge. Ved akkordarbejde eller manglende opfølgning opstår der risiko for, at værdifuldt kød efterlades på knoglerne og derefter afsættes til en væsentlig lavere pris.

Udbeningsprocessens performance kan derfor indirekte overvåges ved at måle mængden af kød, der efterlades på knoglerne. En kontinuerlig måling vil give bedre muligheder for digital monitorering og opfølgning, hvilket kan sikre et mere konsistent udbyttensiveau.

Resumé over projektaktiviteterne fra projektets 1. år (2024)

I 2024 blev der gennemført en systematisk analysefase med bl.a. besøg hos flere danske slagterier for at identificere en optimal placering af målesystemet. På det udvalgte værtsslagteri var det muligt at implementere et visionudstyr over benbåndet umiddelbart efter sammenløbet af de to transportbånd i udbeningen for hhv. for- og bagfjerding, så knogler fra hele skærestuen kunne måles.

Næste fase blev at designe og konstruere et robust RGB-baseret visionsystem med integreret LED-belysning, tilpasset produktionsmiljøet, samt udvikle specialiseret software til kontinuerlig billedopsamling. Systemet blev installeret over benbåndet i produktionen og sat i drift til løbende dataopsamling af billedmateriale for alle knogler ved at anvende specialudviklet software, der automatisk samler overlappende billedsekvenser for hver knogle.

Yderligere detaljer og resultater er beskrevet i projektets årsrapport fra 2024:

[Årsrapport KAF - Udbyttekontrol 2024](#)



Figur 1. Ovenstående viser billeder fra opsætningen af visionudstyret monteret over benbåndet, der modtager knogler fra 2 udbeningslinjer i skærestuen til udbening af hhv. for- og bagfjerding.

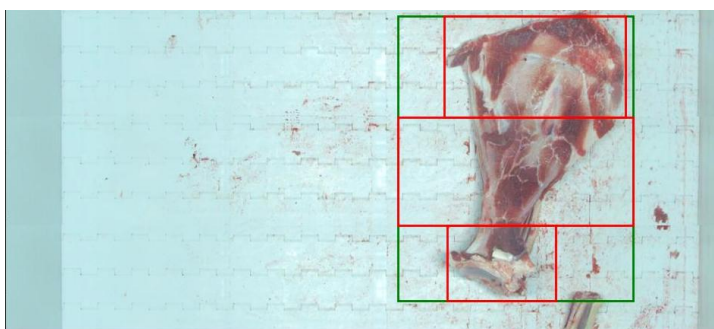
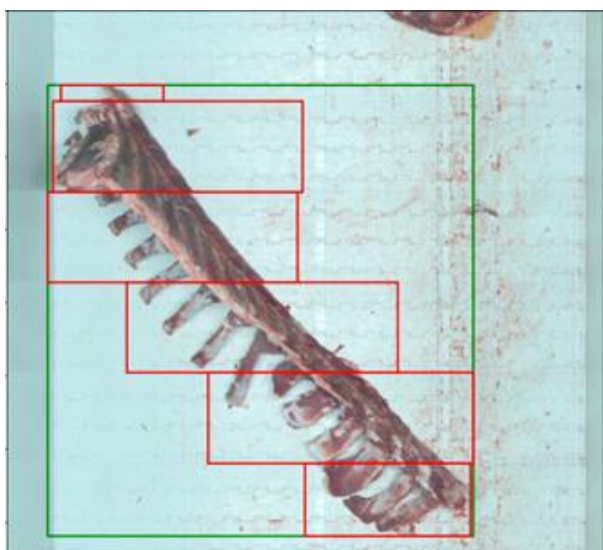
Projektaktiviteter i 2025

Databehandling → Segmentering

Med udgangspunkt i projektets resultater sidste år har der i løbet af 2025 primært været fokus på udvikling af software-analyser til databehandlingen af det billedmateriale, der opsamles dagligt fra visionudstyret hos værtsslagteriet.

Billeddata fra kameraet består af rå billedsegmenter, der løbende optages på baggrund af hastigheden for benbåndet. En række af disse billedsegmenter sammenflettes for at danne billedrepræsentationen for alle typer af knogler, uanset størrelse. For hver samlet billedrepræsentation foretages der herefter en segmentering af knoglens pixel-areal fra baggrunden (båndet) for at danne et "rent" billeddatasæt, der kan anvendes som referencedata for den unikke knogletype.

Nedenfor ses 3 eksempler fra resultatet af segmenteringsalgoritmen, der samler X antal billedsegmenter langs med båndretningen, hvorefter knoglens omrids segmenteres i billedet, og baggrunden fjernes (gøres sort).



Figur 2. Ovenstående viser eksempler på segmenteringsalgoritmen, der både kan flette de enkelte billedsegmenter sammen (flere røde bokse bliver til én grøn boks i billedet til venstre) samt segmentere omridset af knoglen fra baggrunden/båndet (billede til højre).

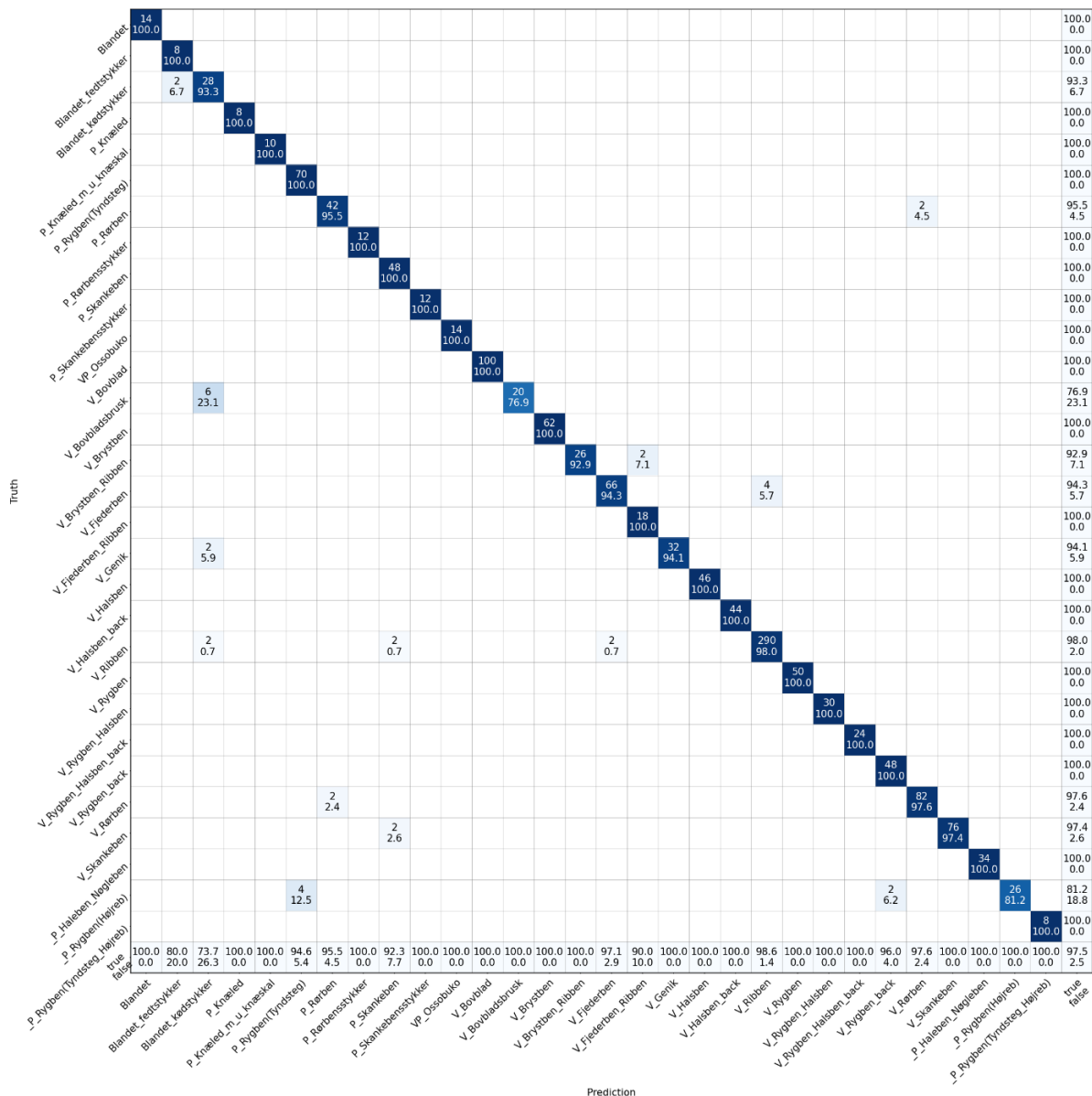
Databehandling → Automatisk identifikation

Ved at generere flere forskellige billedrepræsentationer af de forskellige knogletyper kan disse referencedata anvendes som træningsdata til at udvikle en ID-model til automatisk genkendelse af knogletypen ved at udnytte klassificeringsalgoritmer indenfor kunstig intelligens (AI).

I løbet af projektperioden blev billeddata løbende behandlet og herefter sorteret i de forskellige benprodukttyper for at sikre et tilstrækkelig stort referencedatasæt til optræning af ID-algoritmer. I alt blev knoglerne sorteret i 30 forskellige klasser, hvoraf 3 klasser repræsenterer produkter, der enten ikke er knogler (fx løst kød eller fedt), eller som ligger blandet i en bunke på båndet, så det gør klassificeringen umulig pga. manglende billedrepræsentation af hele knogler.

Udfaldet af træningen på referencedata er vist nedenfor i en såkaldt *Confusion Matrice*, der visualiserer præcisionen af den automatiske genkendelse på de 30 klasser ved at angive prædiktionen (1. akse) mod sandheden (2. akse). Hvis resultatet af den automatiske genkendelse ligger i diagonalen, er identifikationen dermed sand.

Resultatet på testdatasættet ser fornuftigt ud, idet der ikke ligger mange billeder udenfor diagonalen, og der ikke er enkelte klasser, som skiller sig ud. I gennemsnit performer ID-modellen fornuftigt med en præcision på 97,5%.



Figur 3. Ovenstående viser Confusion Matrixen for resultatet af den automatiske identifikation, der bygger på træningen af en ID-model vha. klassificeringsalgoritmer baseret på kunstig intelligens (AI).

Databehandling → Automatisk klassificering af mængden af kød på ben

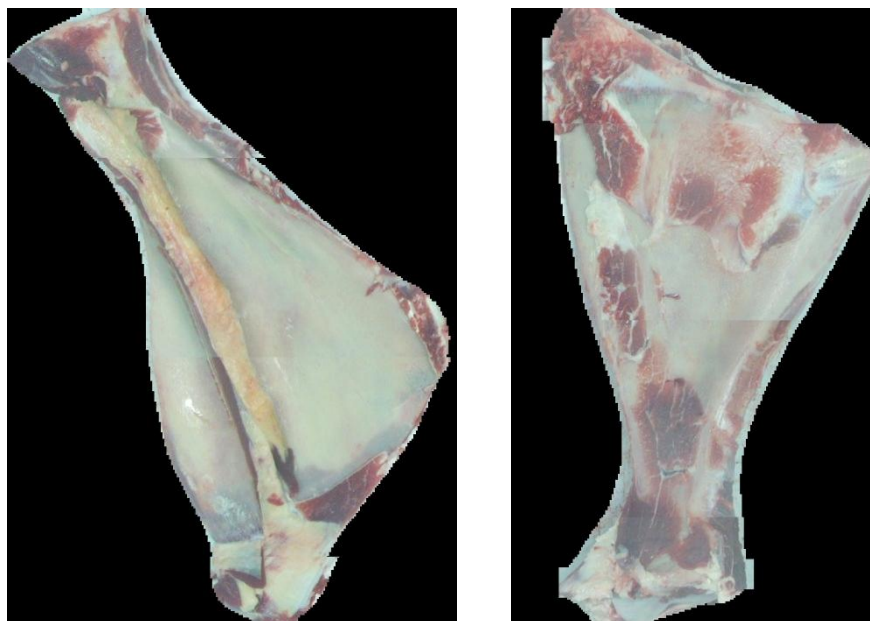
ID-modellen blev senere i projektføreløbet implementeret i visionudstyret, så de segmenterede knogler på båndet automatisk kunne genkendes og derefter sorteres efter produkttype. Det gjorde det muligt løbende at udbygge referencedatasættet af de forskellige knogletyper, men også at sikre variationen under drift, herunder variationer i størrelse og udseende samt mængden af kød på benene. Den sidste parameter var afgørende for at kunne opbygge et nyt referencedatasæt for udvalgte benprodukter, hvor mængden af kød på ben vurderes ud fra en skala fra god til dårlig trimning. Vurderingen af trimningen blev fastsat til at blive klassificeret ud fra en 4-trinsskala som beskrevet nedenfor:

- Trin 1:** Er den perfekte trimning med (næsten) ingen kød tilbage på benet, men stadig muligt at udføre for en dygtig medarbejder.
- Trin 2:** OK trimning, der har en smule kød på benet, men som stadig kan accepteres.
- Trin 3:** Ikke-tilfredsstillende trimning, der efterlader for meget uønsket kød på benet.
- Trin 4:** Dårlig trimning, der ikke kan godkendes, og som ikke må forekomme under udbening.

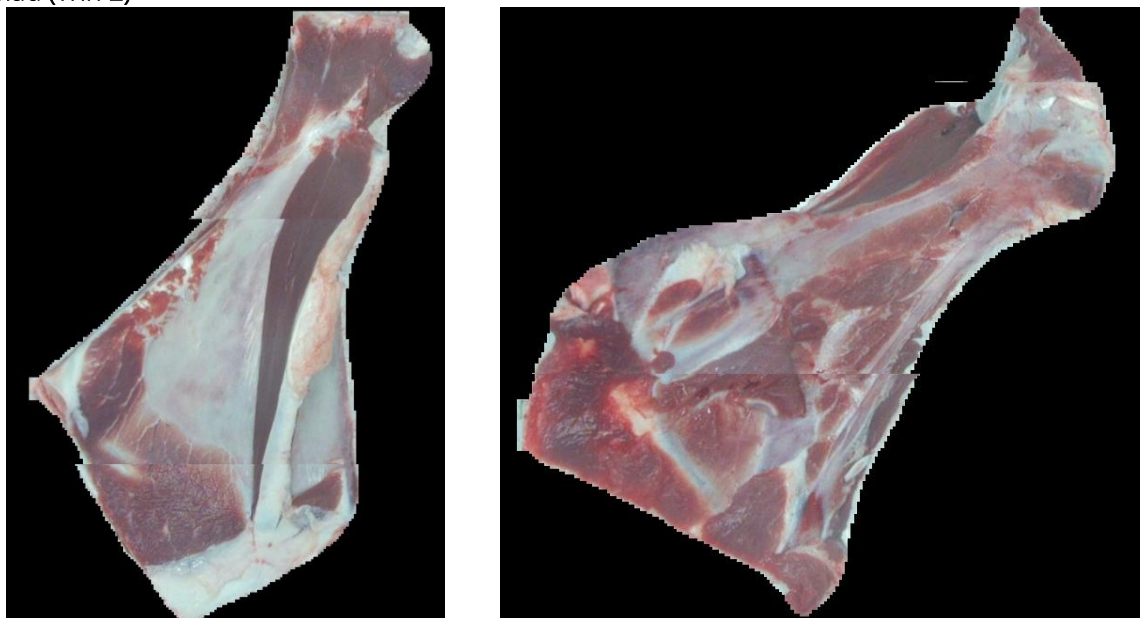
For at kunne klassificere mellem de 4 trin i skalaen og automatisk måle performance i udbeningen blev der etableret et billeddatasæt af flere forskellige produkttyper, der blev gennemgået og annoteret manuelt af faglige medarbejdere hos Teknologisk Institut ift. en manuel vurdering af mængden af kød på benet. Dette referencedatasæt blev herefter udnyttet som træningsdata til opbygning af flere AI-klassificeringsmodeller for hver af de udvalgte benprodukttyper.

Nedenfor er vist eksempler på 2 af disse benprodukttyper annoteret i alle 4 trimningsklasser:

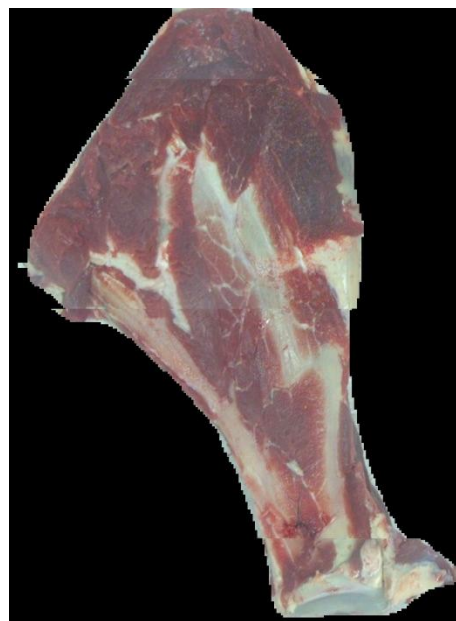
Bovblad (Trin 1)



Bovblad (Trin 2)



Bovblad (Trin 3)



Bovblad (Trin 4)



Figur 4. Ovenstående demonstrerer annoteringen af referencedata for benproduktet *bovblade*, der her er vist med eksempler på alle 4 trimningsklasser for både for- og bagside af forskellige bovblade. Bemærk, hvordan mængden af kød på benet stiger betydeligt med 4-trinsskalaen.

Tyndstegsrygben (Trin 1)



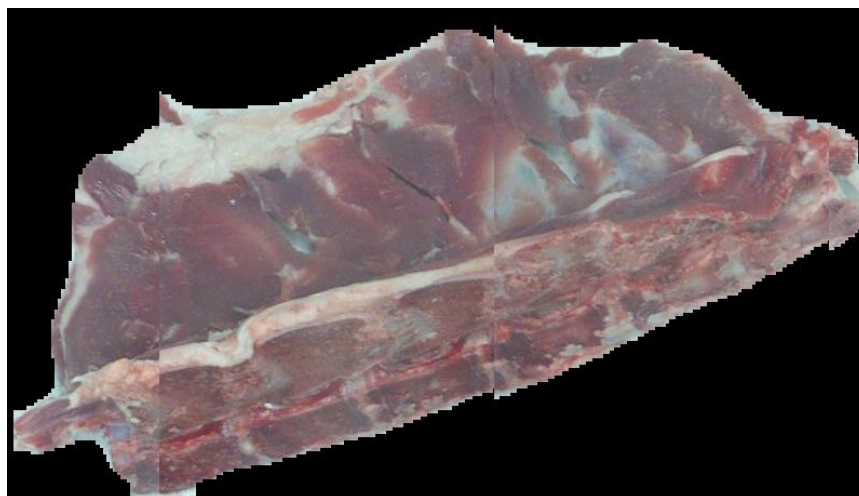
Tyndstegsrygben (Trin 2)



Tyndstegsrygben (Trin 3)



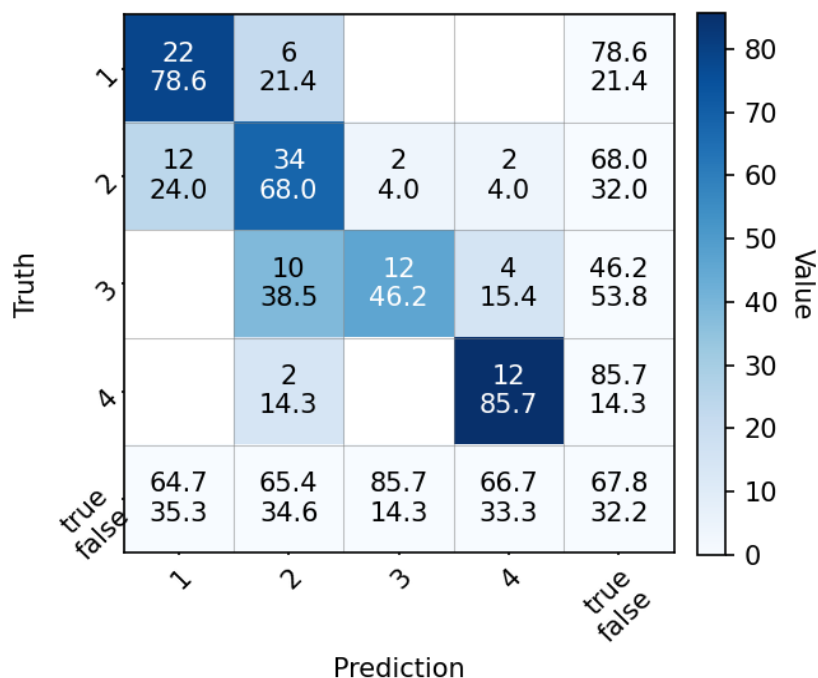
Tyndstegsrygben (Trin 4)



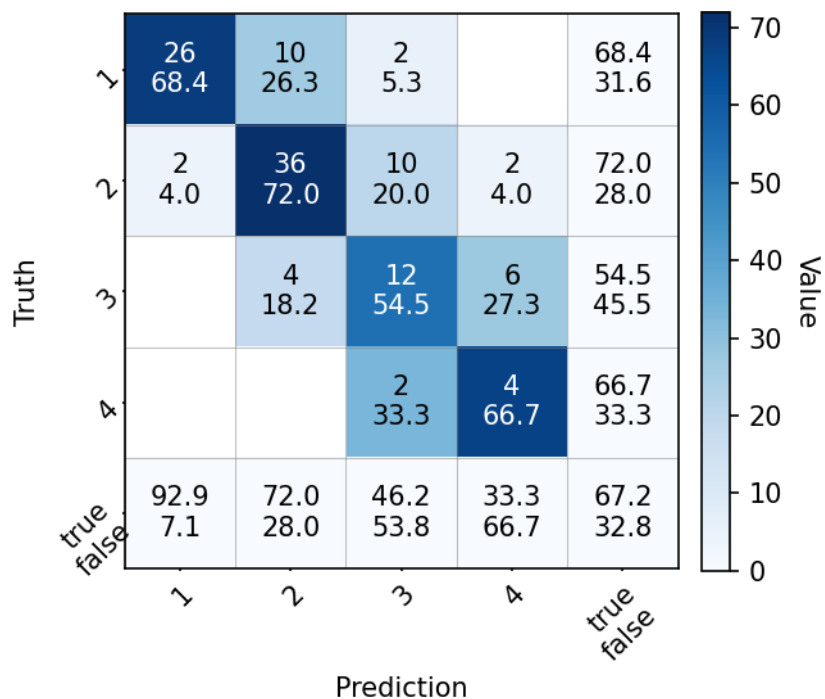
Figur 5. Ligeledes demonstrerer ovenstående billeder eksempler fra annoteringen af billeddata for benproduktet *tyndstegsrygben*. Bemærk især, hvordan kødet mellem de vertikale fladben ikke er fjernet i klasserne 3-4, som ikke er godkendt i udbeningen og bidrager betydeligt til udbyttetabet.

Billedeksemplerne ovenfor er en del af det referencedatasæt, der blev annoteret gennem vurdering fra fagfolk, og som dernæst blev anvendt til at træne nye AI-modeller, der automatisk klassificerer flere udvalgte produkttyper i de 4 trimningsklasser.

Resultatet for opbygningen af klassificeringsmodellerne er vist nedenfor i de 2 Confusion Matricer for evalueringen af testsættet for hhv. bovblad og tyndstegsrygben:



Figur 6. Confusion Matricer for klassificeringsmodellen på testsættet for bovblade.



Figur 7. Confusion Matrice for klassificeringsmodellen på testsættet for tyndstegsrygben.

Ovenstående ser lovende ud, da hovedparten af prædiktionerne ligger på diagonalen og dermed stemmer overens med den faglige vurdering, men man kan også fornemme en usikkerhed i klassificeringen på begge produkter. Dette kan skyldes enkelte fejlvurderinger, men det giver også en indsigt i, at AI-modellerne kan forbedres med mere data og flere annoteringer, idet størrelsen på testsættet ikke er omfattende nok pga. det lave antal bedømmelser i især kategori 3 og 4.

Projektets plan for 2026

Kombinationen af AI-modeller til først genkendelse af produkttypen og derefter klassificering af mængden af kød på benet blev implementeret i visionudstyret i slutningen af 2025. I 2026 er det planlagt at videreudvikle AI-modellerne og sikre bedre performance samt udbygge visionløsningen med en digital formidlingsplatform, der kan anvendes som opfølgingsværktøj for medarbejderne på værtsslagteriet, hvor både billeddata og analyseresultater præsenteres visuelt.