



Valideringsrapport

Holdbarhed af fersk kød i store forpakninger

Emma Bildsted Petersen & Anne Saaby Schmidt-Høier

10. marts 2025

Proj.nr. 2011305

Version 1.0

Init. EMMP/MT/ANHO

Introduktion

Sammen-
drag Projektets formål er at udvikle en holdbarhedsmodel for kølelageret, fersk grisekød pakket i store forpakninger som fx corr-vac.

Korrekt fastsættelse af holdbarhed er afgørende for at reducere spild både i produktionen og hos forbrugerne; samtidig udgør det en væsentlig konkurrencefordel. Matematiske modeller spiller en central rolle i denne proces, da de muliggør en mere nøjagtig vurdering af holdbarheden og dermed bidrager til en effektiv reduktion af spild.

Gennem tiden er der udviklet en række modeller til fastsættelse af holdbarheden for detail-pakkede grisekødsprodukter, som enten er pakket i modificeret atmosfære (MAP), vakuumpakket eller opbevaret under aerobe forhold (*Pork Cuts*, <https://dmripredict.dk>). Industrien har ønsket at have et tilsvarende værktøj til fastsættelse af holdbarhed af store forpakninger (fx corr-vac) på op til 500 kg til industrikunder.

En af de væsentlige udfordringer ved udvikling af en holdbarhedsmodel til store forpakninger er de betydelige variationer i gassammensætningen i pakkerne. Dette skyldes, at det kan være vanskeligt at kontrollere atmosfæren omkring kødet i store pakker, især under processer som vakuumtrækning og tilsætning af pakkegas. Særligt tilstedeværelsen af restilt kan påvirke faktorer såsom bakteriel vækst, harskning og misfarvning, der reducerer holdbarheden.

Disse udfordringer er blevet adresseret i den udviklede model, som gør det muligt for producenterne at lave holdbarhedsprædiktion for store forpakninger med varierende gassammensætning (0-20% oxygen (O₂), 10-60% kuldioxid (CO₂), 20-90% nitrogen (N₂)). Den udviklede model kan desuden anvendes ved opbevaringstemperaturer mellem 0,5 og 7°C.

Af både etiske og økonomiske årsager er der ikke blevet gennemført holdbarhedsforsøg med store forpakninger, da kødforbruget i så fald ville være uforholdsmæssigt stort. I stedet er der anvendt et nedskalaret forsøgssetup med en pakkestørrelse på 1,5 kg. For at sikre, at data fra det nedskalerede forsøgssetup pålideligt afspejler holdbarheden af større pakker, er der udført valideringsforsøg med mellemstore forpakninger på 15 kg.

Den udviklede model er blevet integreret i den eksisterende *Pork Cuts* model. Rent praktisk tilgås modellen for store forpakninger via valgmuligheden "*Bulk packaging*" under pakkemetode. Den opdaterede *Pork Cuts* model er blevet uploadet på DMRI Predict med en tilhørende guideline til brug.

Kravspecifikation

I samarbejde med projektets følgegruppe er modellens variable blevet udvalgt, så de afspejler de industrielle forhold. Modellen er baseret på følgende:

- Udvalg af udskæringer: bov (1313), nakke (1320), kam (1669).
- Opbevaringstemperatur: 0,5-7,0°C.
- Relevante gassammensætninger baseret på baselinemålinger foretaget på store pakninger pakket på kommercielle slagterier.
- Relevant emballage: Logicon poser, PA/PE, tykkelse på 90 µm.
- Holdbarhed baseret på mikrobiologiske og sensoriske analyser.

Fremgangsmåde

Holdbarhedsforsøg Der er udført baselinemålinger af gassammensætninger i store forpakninger på forskellige kommercielle slagterier. På baggrund af resultaterne fra disse baselinemålinger er der gennemført holdbarhedsforsøg med pakker, der indeholder tilsvarende varierende gassammensætninger.

Til holdbarhedsforsøgene blev der indhentet kød fra kommercielle slagterier dagen efter slagtning. Kødet blev transporteret til Teknologisk Institut i kølevogn ved 1-3°C, enten i E2-kasser eller papkasser, afhængigt af de enkelte slagteriers procedurer. Ved ankomsten til Teknologisk Institut blev kødet skåret i mindre stykker på cirka 5 x 5 cm og derefter pakket med varierende sammensætning af gas (samlede mængde gas = 100%):

- 0-20% O₂
- 10-60% CO₂
- 20-90% N₂

Produkterne blev pakket og fluchet ved et tryk på 300 mbar.

Efter pakning blev prøverne opbevaret på køl ved enten 0,5°C, 5,0°C eller 7,0°C.

Vurdering af holdbarhed Holdbarheden blev vurderet løbende i lagringsperioden baseret på analyse af psykrotroft kimental (kuldetolerante bakterier) og sensorisk bedømmelse (misfarvning/lugt). Ved hvert udtag blev der foretaget analyser på 5-3 forskellige prøver pakket med den samme gassammensætning.

Analyse af de psykrotrofe kimental blev foretaget ved at udtage 25 g kød (overflade) fra hver prøve, som blev tilsat 50 ml FKP-vand. Prøven blev stomacheret i 1 minut og herefter spredt på PCA i passende fortyndinger. Prøver blev dyrket ved 6,5°C i 10 døgn.

De sensoriske bedømmelser blev foretaget af et panel på 5-7 medarbejdere fra Teknologisk Institut. Prøverne blev inden bedømmelserne placeret i glasfade, og kødet blev tempereret til 18-20°C, inden prøverne blev vurderet.

Bedømmelserne blev foretaget ved brug af en skala fra 1-4, hvor dommerne blev bedt om at bedømme prøverne op imod en optøet frisk reference, der var indfrosset ved -18°C på pakkedagen. Karaktererne 1-2 blev givet til prøver, der var sensorisk acceptable med hensyn til fordærv, hvor der enten var ingen eller kun mindre afvigelser sammenlignet med

referencen. Karaktererne 3-4 blev givet til prøver, der var fordærvede, hvor prøvens lugt eller udseende enten afveg eller afveg fra referencen.

Lagringsforsøgene blev stoppet, når produkterne blev dømt sensorisk uacceptable (karakter 3-4) af panelet ved to gentagne udtag. For produkter, der blev harske (ved lav lagringstemperatur), blev de sensoriske bedømmelser stoppet, mens mikrobiologiske analyser fortsatte, indtil maksimalt kimaltal var opnået.

Validering Der blev gennemført 3 valideringsforsøg med mellemstore forpackninger på 15 kg (corr-vac-pakket), som blev hjemtaget fra udvalgt slagteri. Ved ankomst til Teknologisk Institut blev gassammensætningen i pakkerne målt ved brug af CheckMate, Dansensor.

De corr-vac-pakkede produkter blev opbevaret på køl ved 5°C, og holdbarheden blev løbende vurderet gennem mikrobiologiske og sensoriske analyser som beskrevet tidligere.

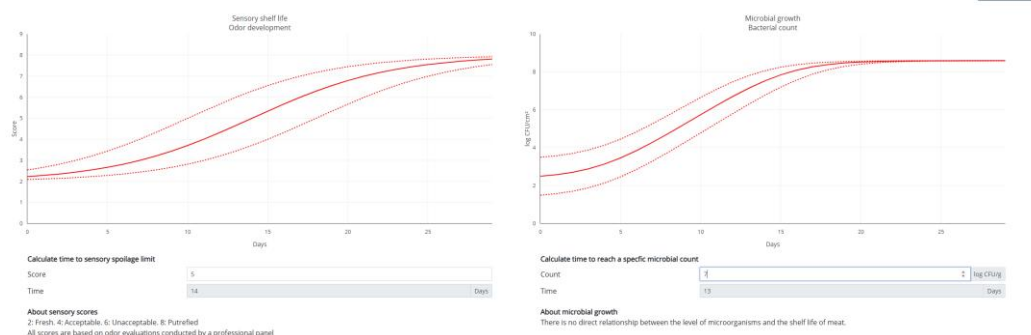
Modellering På baggrund af hvert enkelt holdbarhedsforsøg blev der beregnet maksimal væksthastighed samt nølefasen ved at estimere en Baranyi-model for vækst ved brug af DMFit (Combasepredictor). Væksthastigheder og nølefase blev herefter brugt til at modellere sammenhæng mellem temperatur, gassammensætning og vækst.

Der blev tilsvarende estimeret en Sigmoid-kurve for udvikling af sensorik over tid for hvert holdbarhedsforsøg. Disse kurver blev herefter brugt til at modellere sammenhæng mellem temperatur, gassammensætning og sensorisk udvikling.

Grundet modellens brede virkeområde blev der gennemført flest holdbarhedsforsøg ved forpackninger ved 5°C for hele omfanget af gassammensætninger. Til modellering af temperaturafhængighed blev der derfor brugt information fra den tidligere model (*Pork Cuts*), hvor man estimerede en sammenhæng mellem holdbarhed og temperatur. Denne sammenhæng blev så inkluderet i nærværende model, og i projektet blev der gennemført enkelte holdbarhedsforsøg ved 0,5 og 7,0°C for at validere modellens prædiktion.

Resultater

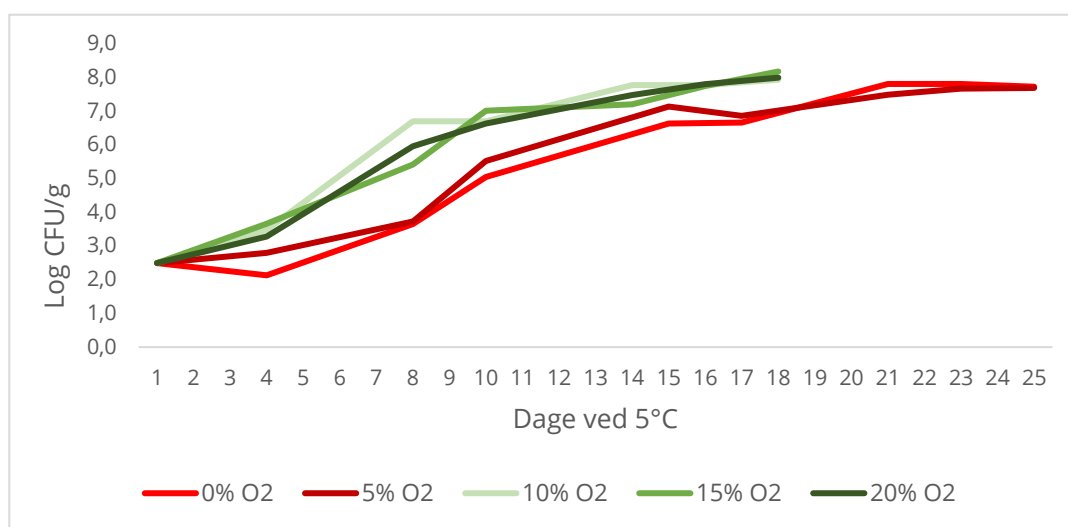
Modellens output Outputtet fra den udviklede model består af to kurver: vækst af psykrotroft kimaltal og sensorisk udvikling over tid (figur 1).



Figur 1. Vækstkurver for psykrotroft kimaltal og sensorisk udvikling.

Kurverne beregnes ud fra de indtastede parametre herunder startkimal, gassammensætning og temperatur. Modellen er implementeret med en middelværdi samt to stiplede kurver, der afspejler den normale variation omkring middelværdien (øvre og nedre grænse for holdbarheden).

Mængden af CO₂ kan indtastes inden for intervallet 10-30%, mens mængden af O₂ er indtastet i to kategorier: ≤5% O₂ eller >5% O₂. Dette skyldes, at væksthastighederne er sammenlignelige ved et O₂-niveau på 0-5%, og ligeledes er væksthastighederne ensartede ved et O₂-niveau på 10-20% (se figur 2). Mængden af N₂ i pakkerne er justeret automatisk baseret på indtastningen af CO₂ og O₂.



Figur 2. Bov pakket i gaspakninger med 30% CO₂ samt varierende mængde O₂.

Af tabel 1 ses eksempler på prædikeret holdbarhed med modellen ved startkimal på 2,5 log CFU/g samt lagring ved 5°C. Til sammenligning fremgår tilsvarende holdbarhedsprædiktioner af detailpakket kød, der enten er MA-pakket, vakuumpakket eller opbevaret under aerobe forhold.

Tabel 1. Eksempler på prædikeret holdbarhed med modellen ved lagring ved 5°C og startkimal på 2,5 log CFU/g. Mikrobielt fordærv er i tabellen defineret som log CFU/g over 7. Sensorisk fordærv er defineret ved en score på 5 eller over.

O ₂ /CO ₂	Mikrobielt fordærv (dage)	Sensorisk fordærv (dage)
≤ 5%/10%	13	14
≤ 5%/30%	14	16
≤ 5%/60%	18	20
> 5%/10%	10	11
> 5%/30%	11	13
> 5%/60%	14	16
Air (21%/<1%)	8	9
MAP (70%/30%)	10	11
Vakuum: ingen O ₂	17	18

Projektets resultater har vist, at holdbarheden af kød afhænger af mængden af både O₂ og CO₂ i pakkerne. For eksempel, i pakker, hvor kødet er pakket med ≤5% O₂ og 10% CO₂, opnås et psykrotroft kimaltal på 7 log CFU/g efter 13 dages lagring, og produkterne vurderes sensorisk fordærvede dagen efter. Er kødet pakket med mere O₂ (>5%), men samme CO₂-niveau på 10%, reduceres holdbarheden af produkter, idet vækst til 7 log CFU/g allerede opnås efter 10 dage, og sensorisk fordærv efter 11 dage. Ved aerob pakning (78% N₂, 21% O₂, 0,031% CO₂) reduceres holdbarheden yderligere med fordærv allerede efter 8-9 dage.

Stigende mængde CO₂ har ligeledes betydning for holdbarheden. Øges mængden af CO₂ fra 10% til 60%, stiger holdbarheden mellem 4-6 dage afhængigt af indholdet af O₂. Resultater viser endvidere, at hvis produkter pakkes med <5%/60% O₂/CO₂, så er holdbarheden sammenlignelig med vakuumpakkede produkter.

En risiko ved pakning ved 0% O₂ er den hurtige vækst af anaerobe bakterier, som kan føre til fordærv. I dette projekt blev dette observeret i et holdbarhedsforsøg, hvor nakkekød blev pakket med 0% O₂ og varierende mængder CO₂ (10%, 30% og 60%). I forsøget blev produkterne sensorisk uacceptable på grund af fordærv allerede efter 8 dages lagring ved 5°C, hvilket er væsentligt tidligere, end hvad der er blevet observeret i andre holdbarhedsforsøg under tilsvarende pakkebetinger. Det psykrotrofe kimaltal, som ikke inkluderer væksten af anaerobe bakterier, var på dag 8 kun ca. 3,5 log CFU/g. En generel tommelfingerregel er, at bakterieniveauet skal overstige 7 log CFU/g, før fordærv kan detekteres sensorisk. Derfor antages det, at det observerede fordærv skyldes vækst af anaerobe bakterier.

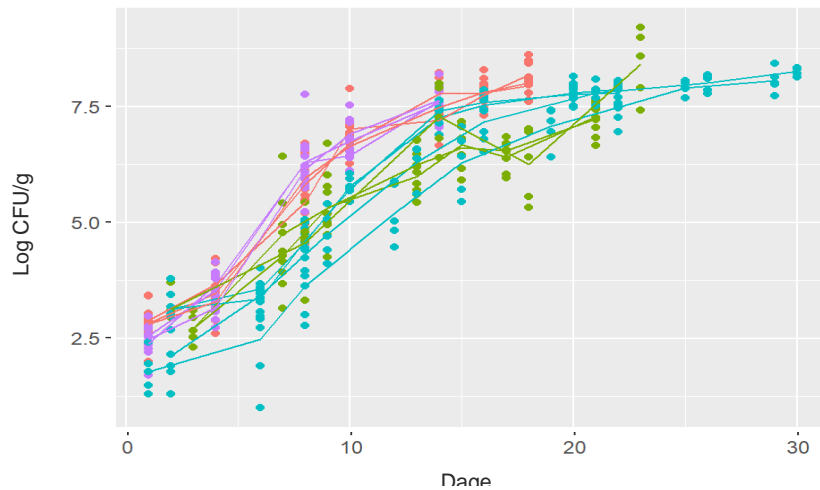
Den samlede risiko for vækst af fordærvende anaerobe bakterier kendes ikke, men i samarbejde med følgegruppen er det dog blevet besluttet, at data fra dette forsøg ikke skal inkluderes i den udviklede model. Inklusionen af disse data ville risikere at skabe et skævt billede af prædiktionerne, der viser, at pakning med højere O₂-niveauer vil give en bedre holdbarhed end pakning ved 0% O₂, hvilket som oftest ikke vil være tilfældet.

Holdbarhed af forskellige udskæringer

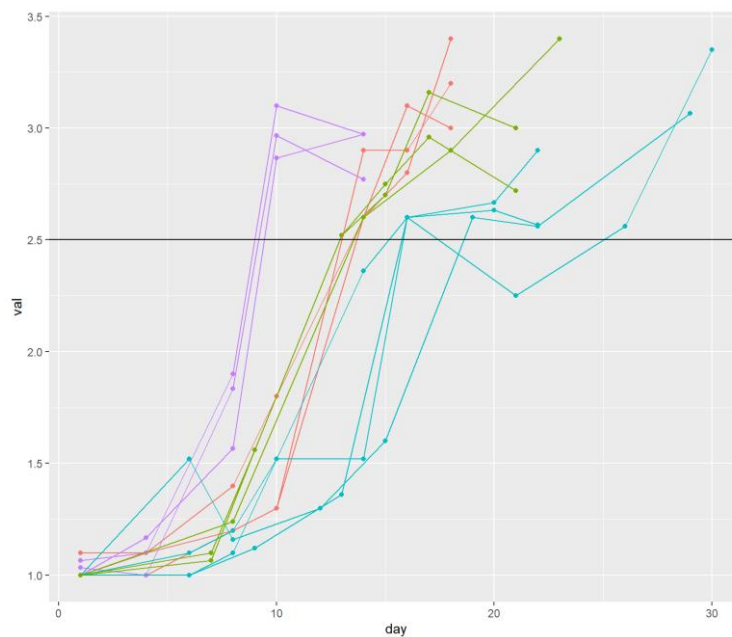
I projektet er der blevet udviklet en generisk model, der kan anvendes til forskellige typer udskæringer. Dog ses der generelt en betydelig variation i både den mikrobiologiske og sensoriske holdbarhed mellem de forskellige udskæringer (se figur 3 og 4).

Som forventet voksede de psykrotrofe bakterier hurtigere i bov og ribben sammenlignet med andre udskæringer. Dette skyldes primært, at bov typisk har en højere pH-værdi end de øvrige udskæringer, der indgik i holdbarhedsforsøgene. Derudover er en hurtigere bakterievækst i benprodukter også forventelig, da det øgede overfladeareal skaber gode vækstbetingelser.

Som det fremgår af figur 4, nedbrydes ribben rent sensorisk signifikant hurtigere end andre udskæringer på grund af fordærv. For at minimere variationen i modellens prædiktioner er det, i samarbejde med projektets følgegruppe, blevet besluttet, at data for ribben udelades fra den udviklede model.



Figur 3. Psykrotroft kimtal analyseret hen over lageringsperioden for forskellige produkter opbevaret ved 5°C og pakket med 10-20% O₂ samt 30% CO₂. Lilla: ribben, rød: bov, grøn: kam, blå: nakke.



Figur 4. Sensorisk score analyseret hen over lageringsperioden for forskellige produkter opbevaret ved 5°C og pakket med 10-20% O₂ samt 30% CO₂. Lilla: ribben, rød: bov, grøn: kam, blå: nakke.

Validering Den udviklede model er blevet valideret gennem tre holdbarhedsforsøg, der anvendte mellemstore pakninger (15 kg) indeholdende henholdsvis ribben, bov og kam. Valideringen inkluderede data fra både analyser af det psykrotrofe kimtal og den sensoriske udvikling over lageringsperioden (se figur 5).

Resultaterne viser, at modellen, som blev udviklet på baggrund af forsøg med nedskalerede pakker, stemmer godt overens med data fra valideringsforsøgene for bov og kam, hvor større pakninger blev anvendt.

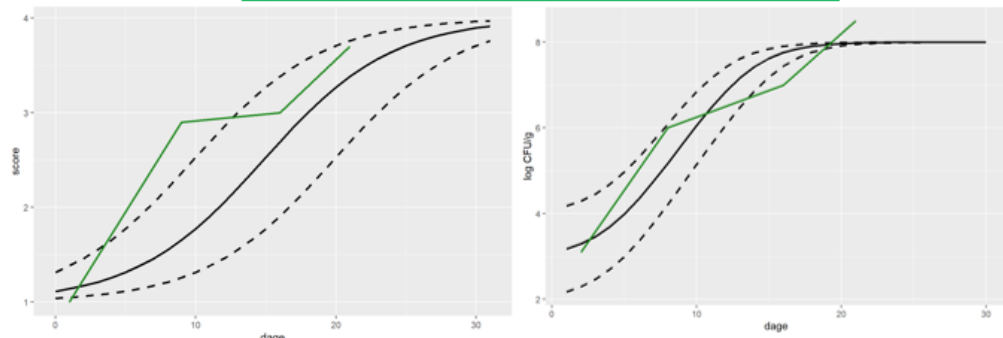
Når data fra valideringsforsøgene med ribben sammenholdes med modellens prædiktio-
ner, fremgår det dog, at ribben sensorisk fordærvs hurtigere, end modellen forudsiger,
hvilket er i tråd med resultaterne fra det nedskalerede forsøgssetup.

Der er ikke gennemført valideringsforsøg med store forpakninger i dette projekt. Rent teo-
retisk bør en opskalering af mængden af kød dog ikke medføre forskelle i holdbarheden. En
bekymring ved store forpakninger på 500 kg har været, at der kunne opstå en uensartet
gassammensætning på grund af aerobe og anaerobe "lommer" i de store forpakninger. Det
er imidlertid vurderet, at eventuelle forskelle i gassammensætningen mellem toppen og
bunden af forpakningen hurtigt vil udligne sig, og at dette derfor ikke vil påvirke holdbarhe-
den i lagringsperioden.

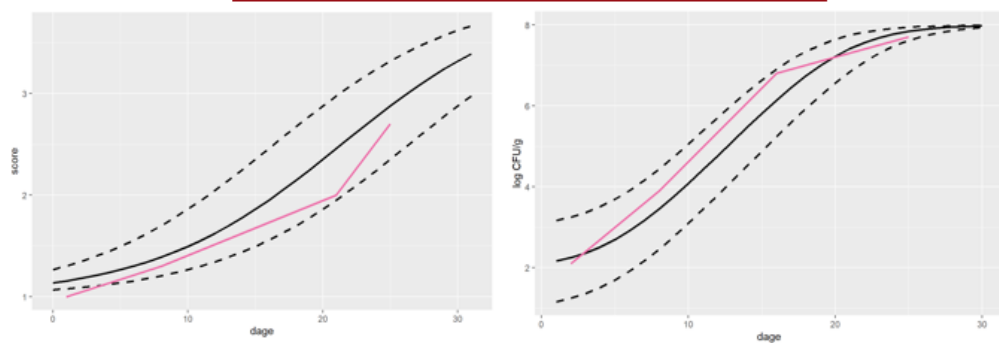
En anden bekymring har været, om holdbarheden af kødet i toppen og bunden af forpak-
ningerne kunne påvirkes, eksempelvis på grund af ophobning af kødsaft. Forskelle i hold-
barhed mellem lever placeret henholdsvis øverst og nederst i pakker er tidligere blevet un-
dersøgt i projektet "Holdbarhed af plucksdele til humant konsum". I dette projekt blev der
ikke påvist nogen forskelle i hverken den sensoriske eller mikrobiologiske holdbarhed mel-
lem lever placeret øverst og nederst i pakkerne, selvom de nederste produkter var dækket
af leversaft¹.

På baggrund af disse vurderinger anses den udviklede model for værende anvendelig til
holdbarhedsprædiktio-
ner for store forpakninger. En valid prædiktio-
ner forudsætter dog, at for-
pakningernes faktiske gassammensætning kendes, og at kødet ved pakningen er tilstrække-
ligt nedkølet (til en kernetemperatur svarende til den temperatur, modellen er baseret på).
Hvis kødet ved pakningen har for høj en temperatur, kan det forventes, at nedkølingen i
midten og bunden af pakken vil være langsommere, hvilket vil medføre temperaturafvigel-
ser. Dette kan resultere i en kortere holdbarhed for kødet i midten og bunden af pakken
sammenlignet med kødet i toppen af pakken og vil derfor afvige fra modellens prædiktio-
ner.

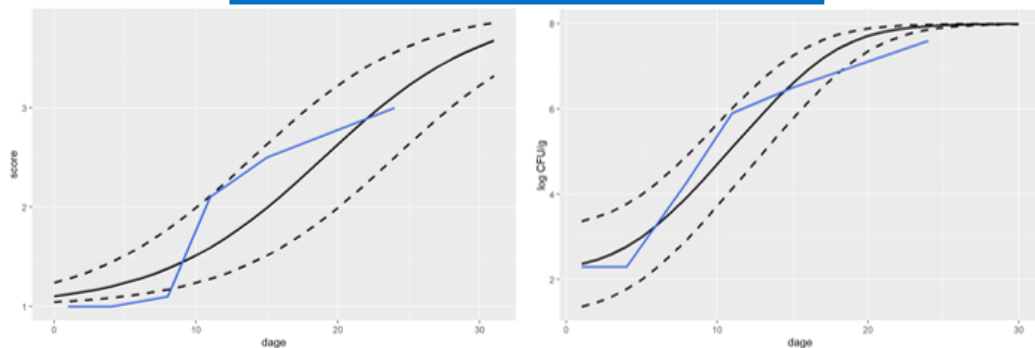
Ribben 16%/16% O₂/CO₂



Bov 10%/53% O₂/CO₂



Kam 10%/37% O₂/CO₂



Figur 5. Sammenligning af valideringsdata (farvede kurver) for mellemstore forpackninger med modelprædiktioner ved tilsvarende gassammensætning (sorte kurver). Graferne i første kolonne er sensoriske score, mens graferne i anden kolonne er mikrobiologisk udvikling.

Konklusion

Der er i projektet udviklet en holdbarhedsmodel til store forpakninger, der kan anvendes for forskellige udskæringer. Modellen kan ikke anvendes til prædiktation af benprodukter (fx ribben), da holdbarheden af disse produkttyper er kortere.

Resultaterne fra valideringsforsøgene viser, at det er muligt at udvikle en model baseret på et nedskaleret forsøgssæt (1,5 kg pakker), hvor data kan videreføres til prædiktation af holdbarheden af større forpakninger. En valid prædiktation forudsætter dog, at forpakningernes faktiske gas-sammensætning kendes, og at kødet ved pakningen er tilstrækkeligt nedkølet (til en kernetemperatur svarende til den temperatur, modellen er baseret på). Hvis kødet ved pakningen har for høj en temperatur, kan det forventes, at nedkølingen i midten og bunden af pakken vil være langsommere, hvilket vil medføre temperaturoafvigelser. Dette kan resultere i en kortere holdbarhed for kødet i midten og bunden af pakken sammenlignet med kødet i toppen af pakken og vil derfor afvige fra modellens prædiktationer.

Referencer

[1] Petersen, E.B. og Koch, A.G. 2024. Holdbarhedsmodel for plucksdele til humant konsum.