



# Rapport

## Optimeret kvalitet og holdbarhed af svinekød

### Slutrapport: WP2 Optimeret detailpakning af svinekød

23. december 2015  
Proj.nr. 2001533-14  
Version 1  
MATN/MT

Mari Ann Tørngren

#### Baggrund

Der er en stigende opmærksomhed på kvaliteten af centralpakket kød, både i Danmark og i landene omkring os. For at kunne sikre optimal kvalitet af produkterne mangler der imidlertid viden om betydningen af lagringsbetingelser og antioxidativ beskyttelse af kødet. Siden midten af 70'erne har man i Danmark typisk anvendt en blanding af 70-80% ilt (O<sub>2</sub>) og 20-30% kuldioxid (CO<sub>2</sub>) til detailpakning af fersk kød, idet metoden øger holdbarhed og farvestabilitet. Slagterier, detailhandel og forbrugere opnår derfor større fleksibilitet under produktion, distribution og anvendelse.

Det er imidlertid internationalt anerkendt, at det høje iltniveau påvirker spisekvaliteten af kødet på et niveau, der kan registreres af forbrugerne. Ilten fremmer oxidationsprocesser, så kødet bliver mindre mørt og saftigt, samtidig med at det får en mere oxideret og "genopvarmet" smag samt et gennemstegt udseende. Der er altså konflikt imellem indkøbsmønster og spiseoplevelse, idet forbrugerne har præference for farven af kød pakket med ilt, mens de har præference for spisekvaliteten af kød pakket uden ilt. Hvorvidt der findes et bedre kompromis ved at anvende et reduceret iltindhold i pakkegassen, er belyst i dette projekt.

Tidligere undersøgelser har vist, at højtryksbehandling af vakuumpakket kød potentielt kan forlænge holdbarheden af fersk og/eller marineret kød med en faktor 2 til 5. Udfordringen med højtryk er at undgå en kogt overflade af kødet samt at sikre et tilstrækkeligt mørt slutprodukt. Ønskes optimal holdbarhed, farvestabilitet og spisekvalitet af dansk detailpakket svinekød, mangler der stadig viden om betydningen af lagringsbetingelser/pakkemetode samt en bedre forståelse af antioxidativ beskyttelse af især proteinstrukturen i kødet.

Overordnet skal projektet undersøge mulighederne for at øge spisekvaliteten af MA-pakket svinekød, ved hjælp af nye pakkegasser og antioxidanter, samt at forlænge holdbarheden af marineret svinekød detailpakket med og uden ilt ved hjælp af antioxidanter og højtryksbehandling.

#### Formål

At udvikle og dokumentere et alternativ til traditionel detailpakning i modificeret atmosfære med højt iltindhold, som sikrer kvalitetsbevarelse af fersk og marineret svinekød.

<i>Mål</i>	<p>Målet med nye pakkemetoder er:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. at undgå forringelse af spisekvalitet ved MA-pakning</li> <li>2. at forlænge holdbarheden af detailpakket marineret svinekød ved brug af antioxidanter og/eller højtryk.</li> </ol>
<i>Perioden</i>	<p>Projektet er gennemført i perioden den 1. januar 2012 til den 31. december 2014.</p> <p>NB: Udarbejdelse af den endelige slutrapport har været udskudt pga. sygdom, derfor vil der forekomme publikationer med en senere datering end 31. december 2014.</p>
<i>Organisation</i>	<p>Ved projektets opstart blev der nedsat en faglig styregruppe med repræsentanter fra svinekødsindustrien i Danmark, Norge og Sverige. Den faglige styregruppe har også fulgt andre DMRI-projekter inden for området 'optimeret kvalitet og holdbarhed af svinekød' og har gennem projektperioden haft til opgave at prioritere indhold af aktiviteter samt at godkende fremlagte resultater. Der har været afholdt faglige styregruppemøder 1-2 gange om året.</p> <p>Foruden den nordiske kødbranche har der været en lang række interessenter og samarbejdspartnere, der i større eller mindre grad har budt ind i forhold til forsøgsarbejde, ansøgninger og formidling:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Københavns Universitet_KU-Science:</b> Post doc-samarbejde fra 2012-2014. Antioxidant mechanisms of natural phenolic compounds against protein cross-link formation in meat and meat systems. The Danish Council for Independent Research   Technology and Production Sciences</li> <li>2. <b>Dupont</b> (tidligere Danisco): Leverandør af kommercielle antioxidantekstrakter i forbindelse med post doc-arbejdet og DMRI's forsøg.</li> <li>3. <b>Danmarks Tekniske Universitet_DTU:</b> Ph.d.-samarbejde fra 2012-2015. Muscle-specific stability of pork packaged in modified atmosphere (MAP) during refrigerated storage. Funding DTU, DMRI samt Norma og Frode S. Jacobsens Fond. Desuden er KU partner i FØSU-ansøgningen IMUMO: Improved meat shelf life with dynamic multiscale modelling (ikke bevilliget 2013, ansøges igen 2016).</li> <li>4. <b>Max Rubner Institute_MRI:</b> Vidensdeling omkring MA-pakning af svinekød med reduceret oxygenindhold i headspace. MRI var desuden partner i første IMUMO-ansøgning "Improved meat shelf life with dynamic multiscale modelling (ikke bevilliget) samt partner i FØSU-ansøgningen SuP-Meat – Sustainable packaging of meat (ikke bevilliget).</li> <li>5. <b>Aalborg Universitet:</b> Food+design: Messestand ved DMRI's mestermøde 2012_ Emballering – bulk &amp; detail.</li> </ol>

6. **RUC\_Roskilde Universitet:** Ph.d.-studie, 2014-2017, RUC. Modelling of oxidation processes in fresh meat. Funding RUC, DMRI samt Norma og Frode S. Jacobsens Fond. Partner i FØSU-ansøgningen IMUMO: Improved meat shelf life with dynamic multiscale modelling (ikke bevilliget 2013, ansøges igen 2016).
7. **Aarhus Universitet:** Partner i FØSU-ansøgningen SuP-Meat – Sustainable packaging of meat (ikke bevilliget 2012).
8. **Iowa State University:** Partner i FØSU-ansøgningen SuP-Meat – Sustainable packaging of meat (ikke bevilliget 2012).
9. **University of Kentucky:** Partner i FØSU-ansøgningen SuP-Meat – Sustainable packaging of meat (ikke bevilliget 2012).
10. **Heart Research Institute:** Partner i FØSU-ansøgningen SuP-Meat – Sustainable packaging of meat (ikke bevilliget 2012).
11. **Multivac A/S:** planlægning og gennemførelse af højtryksbehandling (HPP) i München + pakkemaskine, nye formværktøjer m.m. Partner i FØSU-ansøgningen SuP-Meat – Sustainable packaging of meat (ikke bevilliget 2012).
12. **Cryovac, Sealed Air:** Messestand ved DMRI's mestermøde 2012\_ Emballering – bulk & detail. Partner i FØSU-ansøgningen SuP-Meat – Sustainable packaging of meat (ikke bevilliget 2012).
13. **Færch Plast:** Messestand ved DMRI's mestermøde 2012\_ Emballering – bulk & detail.
14. **Yara Praxair:** Messestand ved DMRI's mestermøde 2012\_ Emballering – bulk & detail.
15. **Marel:** Messestand ved DMRI's mestermøde 2012\_ Emballering – bulk & detail.
16. **PBI Dansensor:** Messestand ved DMRI's mestermøde 2012\_ Emballering – bulk & detail.
17. **PlusPack:** Messestand ved DMRI's mestermøde 2012\_ Emballering – bulk & detail.
18. **Ferosa:** Messestand ved DMRI's mestermøde 2012\_ Emballering – bulk & detail.

#### *Finansiering*

Projektet er finansieret gennem Svineafgiftsfonden samt støttet fra Nortura og HKScan. Desuden har Norma & Frode S. Jacobsens Fond støttet de tilknyttede ph.d.-projekter: 'Muskelspecifik stabilitet af svinekød pakket i modificeret atmosfære under kølelagring' ansøgt af KU samt 'Modellering af oxidationsprocesser i fersk kød' ansøgt af DTU.

## Milepæle

Følgende milepæle blev sat op for projektet og betragtes som gennemført, da de er godkendt på det afsluttende porteføljestyregruppemøde 11.12.2014:

### Resultater 2012

- 'State of the art' for detailpakning af fersk svinekød er udarbejdet.
- Fordele og ulemper ved 2- og 3-gassystemer er dokumenteret for farve, lugt, spisekvalitet, holdbarhedstid og svind af hakket kød og koteletter.
- Guidelines for en optimal gassammensætning for hakket kød og koteletter.
- Guidelines for en optimal sammensætning af gas er udarbejdet for yderligere to ferske svinekødsprodukter.

### Resultater 2013

- Guidelines for en optimal sammensætning af gas for marineret svinekød.
- Perspektiverne ved alternative pakkemetoder er belyst.

### Resultater 2014

- Virkningsgraden af udvalgte antioxidanters effekt på proteinoxidation, farvestabilitet og smagsbevarelse af MA-pakket marineret og/eller højtryksbehandlet svinekød er dokumenteret.
- Anvendeligheden af højtryk som yderligere holdbarhedsforlængende teknologi til marineret kød er afklaret.
- Anbefalinger for optimal forbrugerpakning af fersk og marineret svinekød er udarbejdet.

### Indhold

Ny viden er tilvejebragt gennem 3 litteraturstudier omhandlende:

1. Betydning af pakkegas for kvalitet af svinekød i MAP
2. Alternative pakkemetoder
3. Anvendelse af højtryk som holdbarhedsforlængende parameter

Desuden er der gennemført 8 kvalitetsforsøg samt 9 holdbarhedsforsøg (tabel 1) til dokumentation af holdbarhed og spisekvalitet af fersk, marineret svinekød med og uden tilsætning af phenoliske antioxidant og højtryksbehandling (HPP).

**Tabel 1.** Forsøgsoversigt, produkttype for holdbarheds- og kvalitetsforsøg.

	Fersk kød	Marineret kød	Antioxidanter & HPP
Kvalitet	Kamkotelet Schnitzler Flæsk i skiver Hakket svinekød	Saltede kamkoteletter Saltede/marinerede kamkoteletter Marinerede nakkekoteletter	Saltede kamkoteletter • +/- antioxidant (x3)
Holdbarhed	Kamkotelet Schnitzler Flæsk i skiver Hakket svinekød Kotelet med ben	Saltede kamkoteletter Saltede/marinerede kamkoteletter Marinerede nakkekoteletter	Saltede kamkoteletter • Vakuum + MAP • +/- antioxidant • +/- HPP

### Litteraturstudie vedr. betydning af pakkegas for kvalitet af svinekød i MAP

#### Indhold

Der er gennemført et litteraturstudie på eksisterende viden om lagringsbetingelsernes betydning for holdbarhed og kvalitet af fersk svinekød. Litteraturstudiet har dannet grundlag for valg af de gastyper og gassammensætninger, som er testet i de i tabel 1 angivne forsøg.

#### Konklusion

Grundlæggende er det kødets pigment (myoglobin), der afgør fersk køds farve. Myoglobin kan antage forskellige farver, afhængig af hvilken kemisk tilstand det befinder sig i. Pigmentets tilstandsform, og dermed farvestabiliteten, kan påvirkes af en række faktorer så som pH, temperatur, oxygenpartialtryk, metmyoglobinreducerende potenti-ale samt mikrobiologiske faktorer.

Det er vist i adskillige undersøgelser, at pakning i MAP med 70-80% O<sub>2</sub> i headspace påvirker farve, smag og tekstur af kødet efter tilberedning, og derfor er det hensigtsmæssigt at forsøge at sænke oxygenindholdet i pakkegassen, hvis kvaliteten skal bevares. Enkelte undersøgelser konkluderer endvidere, at det er muligt at opnå en acceptabel holdbarhed ved MA-pakning af svinekam (Hviid et al., 2007) og hakket oksekød (Esmer et al., 2011) ved anvendelse af en 3-komponent pakkegas, bestående af 40-50% O<sub>2</sub> + 20-30% CO<sub>2</sub> og N<sub>2</sub> som fyldgas. Det er dog uklart, i hvor stor grad spisekvaliteten forbedres ved anvendelse af disse 3-gasløsninger.

### Pakkeforsøg 1-9. Holdbarhed og kvalitet af fersk svinekød

#### Formål

At opnå viden om fordele og ulemper ved at ændre gassammensætningen for MA-pakket svinekød – i disse forsøg undersøges gassammensætningens betydning for holdbarhed og kvalitetsbevarelse af 4 danske detailudskæringer og 1 svensk.

#### Metode

Alle forsøg blev opdelt i to delforsøg, dels dokumentation af holdbarhed for det ferske kød, dels dokumentation af spisekvalitet af tilberedt kød ved ændret gassammensætning. Holdbarhedsforsøgene dokumenterede afvigelser i rå lugt og farve under lagring, mens kvalitetsmålingerne dokumenterede sensoriske og kemiske ændringer under lagring ved 5°C med belysning på 1200 lux i op til 13 dage.

**Table 2.** Forsøgsoversigt for MA-pakket fersk svinekød.

Fersk kød	Gas nr.	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Lagring
<b>1.</b> Kamkotelet (DK) <b>2.</b> Schnitzler (DK) <b>3.</b> Flæsk i skiver (DK) <b>4.</b> Kotelet med ben (SE)	1	0%	20%	80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5°C</li> <li>• 1200 lux</li> <li>• 13 dage</li> </ul>
	2	40%	20%	40%	
	3	50%	20%	30%	
	4	50%	40%	10%	
	5	80%	20%	0%	
<b>5.</b> Hakket svinekød	1	0%	20%	80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5°C</li> <li>• 1200 lux</li> <li>• 13 dage</li> </ul>
	2	10%	20%	70%	
	3	40%	20%	40%	
	4	50%	20%	30%	
	5	80%	20%	0%	

### Kamkoteletter

Gennemstegt udseende, mørhed, hårdhed og saftighed påvirkes af både pakkegas og lagringstid. Desuden har pakkegas også betydning for genopvarmet smag.

MA-pakning af kamkoteletter i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub> giver ca. 3 dages længere holdbarhed sammenlignet med traditionel MA-pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>. Denne pakkegas medfører dog flere kvalitetsforringelser end traditionel MA-pakning. Foruden ringere mørhed, premature browning og genopvarmet smag reduceres saftigheden og stegesvindet yderligere.

Rå lugt er den holdbarhedsbegrænsende faktor for samtlige pakkegasser, og farven er for alle gasser overvejende acceptabel i mere end 9 dage.

Det bedste alternativ til traditionel MA-pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> er ifølge disse undersøgelser MA-pakning i 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub>, da holdbarheden forbliver uændret, samtidig med at farvestabiliteten og mørheden forbedres, og gennemstegt udseende/PMB reduceres.

### Skinkeschnitzler

For skinkeschnitzler opnås den længste holdbarhed ved MA-pakning i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub>, hvor mere end 50% af pakkerne er acceptable i mere end 13 dage efter pakning, mens iltfri pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> havde en acceptgrænse på ca. 13 dage. De øvrige pakkegasser med 40-80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> havde alle en acceptgrænse mellem 9-12 dage.

Lagringssvind påvirkes ikke af pakkegas, mens stegesvindet er signifikant højere ved pakning i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub> sammenlignet med øvrige pakkegasser. Denne pakkegas medførte desuden stegt kød med større grad af huldannelse, gennemstegt udseende samt mindre saftigt kød.

MA-pakning i 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub> er det bedste alternativ til traditionel MA-pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>, da denne pakkegas medfører uændret holdbarhed, men bedre mørhed og smag af de tilberedte schnitzler.

#### Flæsk i skiver

Flæsk i skiver har som udgangspunkt en forholdsvis kort holdbarhed og har i en traditionel MAP med 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> ca. 5 dages holdbarhed. Pakkegassen påvirker holdbarheden af fersk stegeflæsk og kan relateres til ændringer i gassammensætningen i headspace, grundet fordærvelsesbakteriernes respiration.

MA-pakkes flæsk i skiver i enten 50% O<sub>2</sub> + 20-40% CO<sub>2</sub> + 10-30% N<sub>2</sub> eller i en iltfri gaspakning med 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>, øges holdbarheden med op til 1 dag sammenlignet med traditionel MA-pakning, mens MA-pakning i 40% + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub> medfører 1-2 dages kortere holdbarhed.

Screening for effekt af UltraZap sugeservietten viser, at der udvikles CO<sub>2</sub> under lagring, og at holdbarheden af stegeflæsken forlænges med ca. 2 dage, uden at stege-svindet øges. Betydning for spisekvalitet kendes ikke.

Stigende oxygenkoncentrationer i pakningen fra 0 til 80% O<sub>2</sub> påvirkede ikke niveauet af harsk smag, genopvarmet smag og hårdhed, som det er set for andre produkter. Supplerende undersøgelser udført på DTU viste et højere indhold af lipide oxidationsprodukter (TBARS) ved stigende indhold af O<sub>2</sub> i pakkegassen, men niveauerne var for lave til at have betydning for spisekvaliteten. Det blev desuden vist, at flæsken harsker forskelligt afhængig af vævstype. Allerede efter to dages lagring kunne følgende rangering ses i relation til lipidoxidation (TBARS): mørk muskel > lys muskel > fedt. Muskelafhængigheden viste sig modsat i relation til proteinoxidation, hvor lyse muskler udviste større grad af proteinoxidation (carbonyler) sammenlignet med mørke muskler.

Derfor er der for flæsk ikke grund til at fjerne O<sub>2</sub> i pakkegassen, men derimod at hæve CO<sub>2</sub>, da MA-pakning i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub> medførte mere sprødhed efter tilberedning af både kød og svær, samt mindre gammel og bitter smag.

Det anbefales derfor at MA-pakke stegeflæsk i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub>, da holdbarheden som minimum er fastholdt i forhold til traditionel MA-pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>, og fordi de sensoriske egenskaber for produktet er forbedrede.

#### Koteletter med ben (svenske)

Ud fra det foreliggende forsøg er det vanskeligt at udtale sig om den aktuelle holdbarhed af svenske koteletter med ben, da kødet – grundet det lave startkimal – ikke nåede at fordærve fuldt ud i løbet af lagringsperioden på 13 dage.

Alle pakkegasser formår at fastholde et acceptniveau på 100% i op til 9 dage, hvorefter de gradvist begynder at afvige, på nær MA-pakning i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub>, der har 100% accept i alle 13 dage. For koteletter pakket iltfrit i 20% CO<sub>2</sub> + 80%

N<sub>2</sub> eller pakket med 3-gas MAP i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub> eller 50% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 30% N<sub>2</sub> er det ikke muligt at fastlægge en acceptgrænse, da de ikke krydser 50%-grænsen inden for de 13 dage. Derimod vil pakning i 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub> eller i traditionel pakkegas med 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> have en holdbarhed på henholdsvis 12 og 13 dage.

Ved anvendelse af UltraZap sugeserviet i bunden af bakkerne øges holdbarheden yderligere, og ingen af pakkerne, uanset passegas, krydser acceptgrænsen på de 50% i løbet af lagringsperioden. Sammenlignes koteletter pakket med og uden UltraZap, er der en klar tendens til, at UltraZap øger holdbarheden og antallet af acceptable bedømmelser for alle de testede pakkegasser.

Det anbefales derfor at MA-pakke svenske koteletter iltfrit eller med 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub>, da det som minimum giver en uændret holdbarhed og sandsynligvis en forbedret spisekvalitet (se afsnittet om kamkoteletter, side 6).

#### Hakket bov

Den bedste farvestabilitet opnås ved MA-pakning med 0-10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70-80% N<sub>2</sub>, da der opnås mere end 13 dages accept på farven, hvorimod pakning i 40% + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub> giver maksimalt 7- 8 dage og pakning i 50-80% O<sub>2</sub> giver maksimalt 9-12 dages farvestabilitet. Pakning i 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub> vil dog medføre misfarvning af overfladen to dage efter pakning som følge af iltrest i headspace og bør derfor ikke distribueres inden for de første 2-3 dage efter pakning.

Farven er imidlertid ikke den holdbarhedsbegrænsende faktor, idet lugten afviger før farven. Med traditionel MA-pakning kan opnås 7-8 dages holdbarhed, hvilket også er gældende ved pakning i både 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> og 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub>, mens pakning i og 50% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 30% N<sub>2</sub> giver op til 7 dage og pakning i 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub> kun giver 5-6 dages acceptabel lugt.

Ved pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> eller 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub> vil putrid lugt ved åbning af pakken eller misfarvning (dag 2) være begrænsende for holdbarheden, mens det er den afgassede kødlugt, der afviger først, når kødet er pakket i enten 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub>, 50% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 30% N<sub>2</sub> eller 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>. Den længste holdbarhed opnås altså ved MA-pakning i iltfri MAP, 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub> eller traditionel pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>. For alle pakketyper er holdbarheden under 9 dage. En længere holdbarhed kan sandsynligvis opnås ved at øge indholdet af kuldioxid i headspace.



Sensoriske egenskaber af krebinetter formet af MA-pakket hakket svinekød påvirkes både af pakkegas og lagringstid. Sammenlignes traditionel MA-pakning med 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> med de 4 alternative pakkegasser medfører:

- MA-pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>: mere kødsmag, mindre fasthed, mindre premature browning (PMB).
- MA-pakning i 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub>: mere kødsmag og stegesvind, mindre fasthed, PMB og harsk smag
- MA-pakning i 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub>: mindre harsk smag, mindre PMB, mere gammel smag
- MA-pakning i 50% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 30% N<sub>2</sub>: mere gammel smag

Øges lagringstiden, intensiveres harsk smag, gammel smag og bitter smag, mens saftigheden og kødsmag reduceres.

Det anbefales derfor at MA-pakke hakket svinekød i iltfri MAP, 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub>, da det giver en uændret holdbarhed samt mere kødsmag og saftighed samt mindre PMB og harsk smag.

#### **Pakkeforsøg 10-15. Holdbarhed og kvalitet af marineret svinekød**

##### *Motivation*

Langt de fleste undersøgelser på kvalitetsændringer relateret til pakkemetoden er udført på fersk kød, men kvalitetsændringerne opleves også på marineret svinekød. Ændringerne skyldes som før nævnt oxidationsprocesser under lagring, og disse processer vil påvirkes både af lagens sammensætning og af pakkegassen, idet salt og ilt er kendte pro-oxidanter.

##### *Metode*

Der er i dette projekt gennemført forsøg på tre kødtyper til dokumentation af pakkegassens betydning for holdbarhed og spisekvalitet af marineret svinekød. De tre produkter er saltede kamkoteletter, saltede og overflademarinerede kamkoteletter samt overflademarinerede nakkekoteletter.

Alle råvarer er inden pakning analyseret for pH<sub>24</sub>, startkimtal og pigment. Til dokumentation af kvalitet er gennemført sensorisk profilbedømmelse samt beregning af lagringssvind og stegesvind, mens holdbarheden er dokumenteret ved bedømmelse af lugt og udseende. I forbindelse med holdbarhedsforsøget blev desuden anvendt UltraZap sugeserviet i en del af pakkerne til dokumentation af en eventuel holdbarhedsforlængende effekt. Resultaterne på fersk svinekød viste, at det er muligt at reducere iltkoncentrationen til 40%, derfor er der i disse forsøg fokuseret på betydningen af CO<sub>2</sub>. I tabel 3 er vist de pakkegasser, der blev testet for marineret svinekød.

**Table 3.** Forsøgsoversigt for MA-pakket marineret svinekød.

Marineret svinekød		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	1	0%	20%	80%
6. Saltede kamkoteletter	2	40%	20%	40%
7. Saltede og marinerede kamkoteletter	3	40%	30%	30%
8. Marinerede nakkekoteletter	4	40%	40%	20%
	5	80%	20%	0%

## Resultater

### Saltede kamkoteletter

Pakkegassen påvirker både holdbarhed og spisekvalitet under lagring af saltede kamkoteletter. Oxygen har betydning for gennemstegt udseende samt harsk og sur smag, mens tekstur er påvirket af både CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub> i pakkegassen. Øges koncentrationen af CO<sub>2</sub> i pakkegassen, øges både stegesvind og huldannelse.

Optimal holdbarhed opnås ved traditionel MA-pakning med en pakkegas bestående af 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>. Det er muligt at opnå en tilsvarende holdbarhed ved pakning i 3-gas MAP med 40% O<sub>2</sub> + 30-40% CO<sub>2</sub> + 20-30% N<sub>2</sub>. Disse pakkegasser vil tillige forbedre spisekvaliteten en smule, ved at kødet får en mindre harsk og sur smag efter tilberedning samt bliver mindre gennemstegt og hullet.

Reduceres CO<sub>2</sub> til 20%, vil det være muligt at forbedre spisekvaliteten yderligere, idet koteletterne opleves mindre hårde, men vil samtidig betyde 2 dages kortere holdbarhed under lagring.

Ønskes optimal spisekvalitet, hvor både udseende, smag og tekstur forbedres i forhold til traditionel MA-pakning, anbefales at anvende en iltfri pakkegas med 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> eller 3-gas MAP med 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub>. Ulempen ved disse pakkegasser er, at holdbarheden samtidig reduceres med ca. 2 dage.

Effekten af UltraZap sugeservietten varierer fra 0-2 dage afhængig af pakkegas. Maksimal holdbarhedsforlængende effekt, ca. 2 dage, er ifølge disse forsøg, når kødet MA-pakkes i 40% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 20% N<sub>2</sub> eller i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>. Resultatet skal dog tages med forbehold, da det er udført på et mindre antal pakninger.

Ifølge disse forsøg findes der ikke én ideel pakkegas til detailpakning af saltede kamkoteletter, da optimal spisekvalitet kræver, at der gås på kompromis med holdbarheden.

### Saltede og marinerede kamkoteletter

Pakkegassen påvirker både holdbarhed og spisekvalitet under lagring af saltede og marinerede kamkoteletter. Oxygen har betydning for gennemstegt udseende samt kødsmag og gammel smag. Øges koncentrationen af CO<sub>2</sub> i pakkegassen, øges intensiteten af huldannelse.

Ved detailpakning af saltede og overflademarinerede kamkoteletter opnås den længste holdbarhed ved iltfri pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>, idet acceptgrænsen for lugt og farve ikke blev krydset i løbet af de 13 dage, forsøget blev gennemført.

Optimal spisekvalitet opnås ved iltfri pakning, hvor kødsmagen intensiveres, og gammel smag reduceres i forhold til traditionel MA-pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>. Saftigheden er ikke påvirket af pakkegassen, men stegesvindet er 2,5% højere ved iltfri pakning.

3-gas MAP med 40% O<sub>2</sub> + 20-40% CO<sub>2</sub> + 20-40% N<sub>2</sub> er ikke en optimal pakkeløsning for saltede og overflademarinerede koteletter, idet hverken spisekvalitet eller holdbarhed forbedres relativt til traditionel MA-pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>.

Det anbefales derfor at MA-pakke saltede og marinerede kamkoteletter i iltfri MA-pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>, idet både holdbarhed samt smag og udseende forbedres i forhold til traditionel MA-pakning.

#### Marinerede nakkekoteletter

Pakkegassen påvirker både holdbarhed og spisekvalitet under lagring af overflademarinerede nakkekoteletter. Men en stor del af variationen i spisekvalitet må desværre tillægges muskel- og dyr-til-dyr-variation.

Trods denne variation vurderes, at dokumentationen for, at pakning i enten iltfri 2-gas MAP (20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>) eller 3-gas MAP med 40% O<sub>2</sub> + 20-30% CO<sub>2</sub> + 30-40% N<sub>2</sub> kan reducere gennemstegt udseende af stegte nakkekoteletter, er overbevisende.

Optimal holdbarhed opnås ved iltfri MA-pakning med en pakkegas bestående af 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>, hvor hverken udseende eller rå lugt bliver overvejende uacceptable i de 13 dage, undersøgelsen er gennemført.

Der kunne ikke dokumenteres en holdbarhedsforlængende effekt ved brug af UltraZap sugeserviet for de anvendte pakkegasser.

Det anbefales derfor at MA-pakke marinerede nakkekoteletter i iltfri MA-pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>, idet både holdbarhed samt udseende forbedres i forhold til traditionel MA-pakning.

Projektets mål med at udvikle og dokumentere alternative pakkegasser, der betyder, at vi fremadrettet undgår forringelser af spisekvalitet ved MA-pakning, er belyst ved de senest beskrevne forsøg 1-15, mens der i forsøg 16 og 17 fokuseres på den holdbarhedsforlængende effekt af højtryksbehandling og anvendelse af antioxidanter.

## **Pakkeforsøg 16. Sensorisk og oxidativ kvalitet af marineret svinekød tilsat forskellige typer antioxidant**

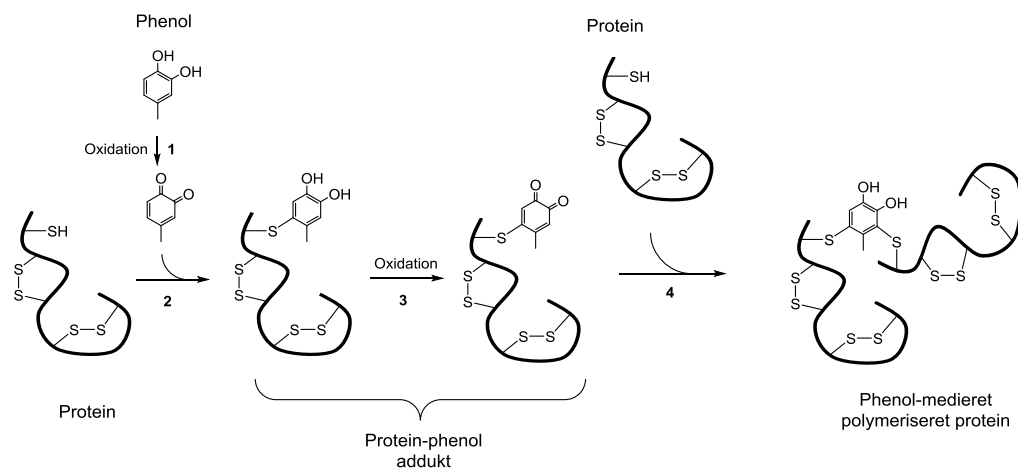
### *Motivation*

Der mangler fortsat grundlæggende viden om mekanismerne bag de kvalitetsforringelser, der ses ved traditionel MA-pakning, men proteinoxidation menes at være en væsentlig faktor. Tidligere arbejde har vist, at mørhed og saftighed forringes ved pakning i 70-80% O<sub>2</sub>. Frem til 2015 har der ved Københavns Universitet været forsket i naturlige antioxidanters beskyttelse mod proteinoxidation. Følgende forsøg havde til formål at undersøge, om de gavnlige effekter kan verificeres, når de overføres til en industriel produktion.

### *Teori*

Antioxidanter fra plantemateriale, så som grøn te, rosmarin og druer, er pga. deres høje indhold i phenoliske forbindelser i stand til at reducere mængden af off-flavours, der dannes i forbindelse med oxidation af lipider i kød (Jongberg et al., 2011; Jongberg et al., 2013). Phenolerne er i stand til at bremse oxidationen af lipider ved at reducere mængden af reaktive iltmolekyler, som initierer oxidationen og holder kædereaktionen i gang. I kød anses også jern og myoglobin for vigtige initiatører af oxidation, og også disse er phenoliske forbindelser i stand til at reducere (Jongberg et al., 2012; Jongberg et al., 2014). Disse beskyttende reaktioner gør sig ikke kun gældende i forhold til lipidoxidation, men også i forhold til proteinoxidation. Men da proteinoxidation ikke forløber i den samme form for kædereaktion som lipidoxidation, bliver effekten af phenolerne ikke nær så udpræget og dermed sværere at detektere end for lipidoxidation (Jongberg, 2012).

Ikke desto mindre er phenolerne også effektive over for proteinoxidation i kød, og både myoglobin og myofibrillære proteiner kan beskyttes mod oxidation (Miura et al., 2014; Nieto et al., 2013; Utrera & Estevez, 2013). I kød genererer oxidation proteinkrydsbindinger, som allerede i lave niveauer vil have en indflydelse på blandt andet tekstur og vandbindingsevne af kødet (Lund et al., 2007; Jongberg et al., 2014b; Jongberg et al., 2015). I forhold til proteinoxidation er der, i modsætning til lipidoxidation, visse faktorer, som skal tages i betragtning, og dette er potentielle interaktioner mellem proteiner og phenoler, som fra naturens side meget gerne vil danne addukter og komplekser (Jongberg et al., 2011b; Le Bourvellec & Renard, 2012; Ozdal et al., 2013). Protein-phenol-interaktioner kan være meget forskelligartede, men især kemiske reaktioner påvirker kvaliteten af kød (Jongberg et al., 2015). Det er påvist, at phenoler kan reagere i en kovalent binding med blandt andet proteinthioler (cysteine sidekæde, Protein-SH) (Jongberg et al., 2011; Jongberg et al., 2013) og danne protein-phenol-addukter i kød (Jongberg et al., 2012; Jongberg et al., 2011b). Når phenolerne tilsættes i høje koncentrationer, fordres disse interaktioner, hvorved proteinerne modificeres og i værste grad polymeriseres (Jongberg et al., 2014; Nieto et al., 2014). Desuden forringes tekturen og emulsionsegenskaberne af processerede kødprodukter (Jongberg et al., 2013; Jongberg et al., 2015).



**Figur 1.** Protein-phenol-interaktioner under oxidation

Til dokumentation af phenoliske antioxidanters effekt i svinekød produceret under industrielle forhold er gennemført et forsøg med sammenligning af fire lager. Svinekamrene er dels tilført en almindelig neutral basislage uden antioxidant, en basislage tilsat en almindelig kendt antioxidant, natrium-ascorbat, en basislage tilsat maté-ekstrakt (ekstraheret på KU-laboratorium) samt en basislage tilsat kommercielt grøn te-ekstrakt. Alle lagerne blev sammenlignet inden for hver gris, der indgik i forsøget, og alle kamme blev efterfølgende skåret til koteletter, MA-pakket i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> og lagret ved 5°C i 1200 lux belysning.

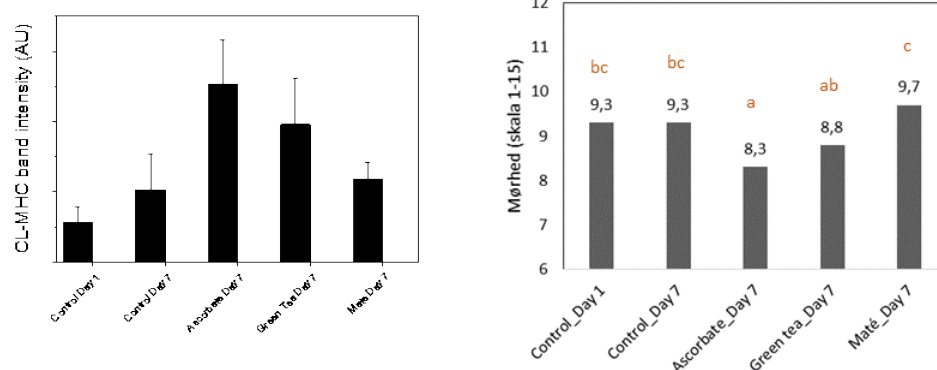
**Tabel 4.** Forsøgsoversigt for MA-pakket marineret svinekød +/- antioxidant

Marineret svinekød		Basis	Antioxidant
9. Saltede kamkoteletter (MAP 80% O <sub>2</sub> + 20% CO <sub>2</sub> )	1	X	Ingen
	2	X	Ascorbat (Na <sup>+</sup> )
	3	X	Mate-ekstrakt
	4	X	Grøn te-ekstrakt

### Resultater

Generelt kan phenoliske antioxidant med fordel inkorporeres i hele kødstykker via en sprøjtelage. Både maté- og grøn te-ekstrakt er i stand til at reducere omfanget af lipidoxidation.

Desuden viste resultaterne, at både mørhed og mængden af krydsbundet myosin (CL-MHC) afhænger af, hvilken antioxidant der tilsættes lagen, og hvornår i lagringsperioden der analyseres. Sammenlignes forskelle i myosinkrydsbinding og forskelle i mørhed, er der en klar sammenhæng mellem øget krydsbinding og reduceret mørhed af koteletterne (figur 2).



**Figur 2.** Proteinkrydsbinding (CL) og mørhed i lagesaltede MA-pakkede koteletter afhængig af antioxidant i lagen og lagringstid. For mørhed er signifikant forskellige værdier ( $p > 0,05$ ) angivet med forskellige bogstaver over søjlerne.

Antioxidanternes virkningsgrad i relation til proteinoxidation, farvestabilitet og spisekvalitet relativ til basislagen er vist i tabel 5. Ingen af de udvalgte antioxidant havde positiv effekt på alle kvalitetsparametre, men ønskes farvestabiliteten styrket, vil tilsætning af Na-ascorbat eller maté-ekstrakt minimere farveændringer under lagring. Smagsændringer relateret til lipidoxidation forekommer, uanset hvilken lage der er tilsat, og der vil kunne opleves harsk og genopvarmet smag efter en vis lagringstid. Den mest virksomme antioxidant var maté-ekstrakt, der reducerede gammel smag i slutningen af lagringsperioden. Na-ascorbat og grøn te-ekstrakt virker pro-oxidativt på proteinoxidation, hvilket betyder, at mørheden af koteletterne påvirkes negativt.

**Tabel 5.** Oversigtstabel, der viser betydningen af tilsætning af phenoliske antioxidant på lagesaltet svinekam, lagret som koteletter i MAP (70%  $O_2$ /30%  $CO_2$ ).

	Proteinoxidation	Farvestabilitet	Spisekvalitet
Na-ascorbat	CL øges ++	Farveændringer↓	Mørhed ↓
Grøn te	CL øges +	$\Delta E = \text{basis}$	Bismag ↑
Maté	CL = basis	Farveændringer↓	Gammel smag ↓ (Mørhed ↑)

### Konklusion

Maté-ekstrakt er den mest virksomme antioxidant, da den påvirker farvestabilitet og smagsbevarelse positivt. Na-ascorbat, som allerede anvendes industrielt, øger farvestabiliteten, men påvirker mørheden negativt. Dette kan muligvis løses med en justering af koncentrationen i færdigvaren. Den mindst virksomme antioxidant er grøn te-ekstrakt, fordi den hverken forbedrer spisekvalitet eller farvestabilitet, og proteinoxidation øges. Af de testede antioxidant var maté-ekstrakt, ekstraheret i laboratoriet på Københavns Universitet, den mest effektive, mens den kommercielt tilgængelige Na-ascorbat forbedrer farvestabiliteten på bekostning af mørhed.

Metode

**Pakkeforsøg 17. Holdbarhed af marineret svinekød tilsat antioxidanter og HPP**

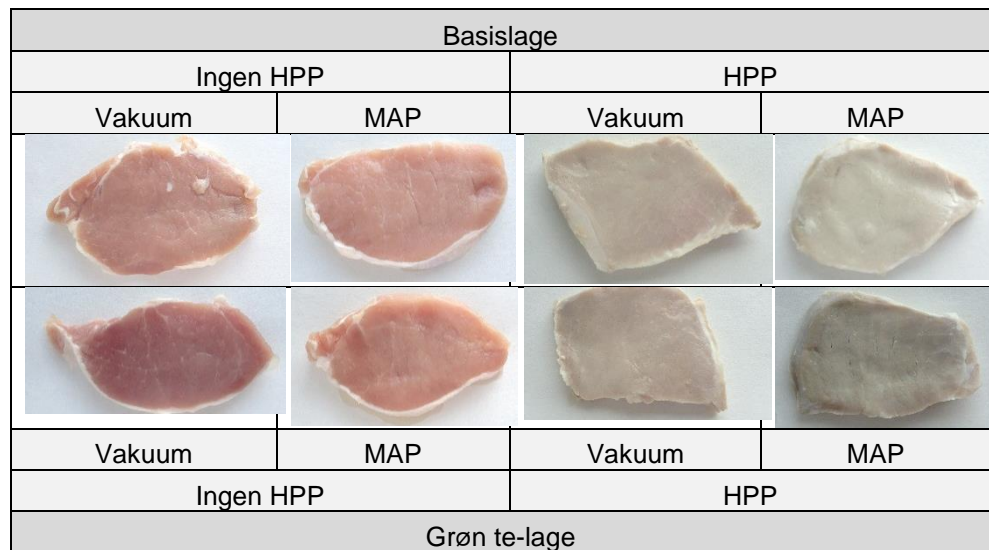
Højtryks effekt på marineret svinekød pakket i vakuum og MAP (80% ilt) undersøges i forhold til mikrobiologisk holdbarhed og overfladefarve. Desuden undersøges, om anvendelse af et phenolisk antioxidantekstrakt kan reducere oxidation forårsaget af højtryksbehandling og MA-pakning. Svinekamme er lagesaltet med en basislage eller med en basislage tilsat antioxidanten 'grøn te-ekstrakt' og er efterfølgende skåret til koteletter og vakuumpakket eller MA-pakket (80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>), højtryksbehandlet ved 6000 bar i 6 minutter ved 5°C og dernæst lagret ved 5°C med displaybelysning 1200 lux 12 timer/dag. Som referenceprøver er anvendt ikke-højtryksbehandlede produkter. Der er løbende analyseret for totalkim og TBARS over 48 dage.

**Tablet 6.** Forsøgsoversigt for MA-pakket marineret svinekød +/- antioxidanter og HPP

Marineret svinekød		Basis	+ Antioxidant	HPP
10. Saltede kamkoteletter (Vakuum)	1	X	Ingen	+
	2	X	Ingen	-
	3	X	Grøn te-ekstrakt	+
	4	X	Grøn te-ekstrakt	-
11. Saltede kamkoteletter (MAP 80% O <sub>2</sub> + 20% CO <sub>2</sub> )	1	X	Ingen	+
	2	X	Ingen	-
	3	X	Grøn te-ekstrakt	+
	4	X	Grøn te-ekstrakt	-

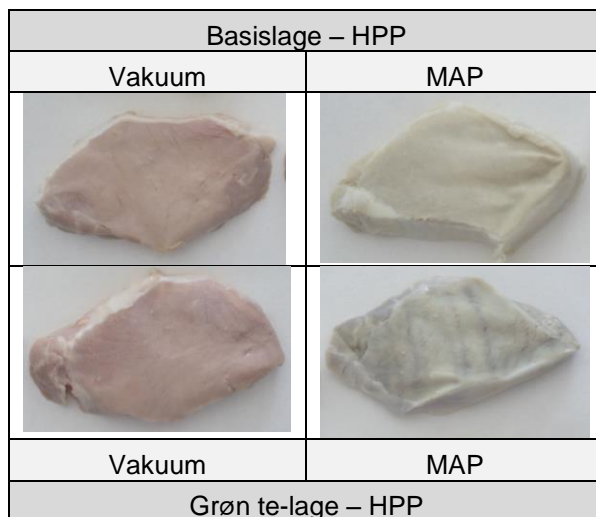
Kvalitet

Ved højtryksbehandling fik alle produkter et gråligt, kogt udseende jf. figur 3. De vakuumpakkede produkter var dog mindre gråfarvede og havde et rosa skær. MAP med høj ilt havde således ingen positiv effekt på overfladefarven efter højtryksbehandling, eftersom pigmentet var denatureret.



**Figur 3.** Koteletter marineret i basislage eller i grøn te-lage, vakuumpakkede eller MA-pakket med og uden HPP, lagret i 7 dage ved 5°C med belysning.

Ved lagring fik de højtryksbehandlede MAP-koteletter – tilsat grøn te – blågrønne striber jf. figur 4. Det skyldes sandsynligvis en kompleks dannelse mellem phenoler og metal-ioner. Højtryksbehandlede produkter blev bedømt til at være mere saftige, men mindre møre end de ikke-højtryksbehandlede produkter. Højtryksbehandlede MAP-produkter havde desuden en bismag.



**Figur 4.** Koteletter marineret i basislage eller i grøn te-lage, vakuumpakkede eller MA-pakket, HPP og lagret 42 dage ved 5°C med belysning.

TBARS-udviklingen i vakuumpakket svinekød var på samme lave niveau (TBARS < 5  $\mu\text{mol/kg}$ ) uafhængig af lage (med/uden antioxidant – grøn te) og behandling (ikke-højtryk/højtryk). Dette betyder, at højtryksbehandling ved 6000 bar af vakuumpakket kød ikke accelererer lipidoxidation, og niveauet af sekundære lipidoxidaionsprodukter forbliver under det sensorisk uacceptable niveau (10-15  $\mu\text{mol/kg}$ ) under lagring i op til 48 dage.

Indholdet af frie thiolter i vakuumpakket kød var på samme høje niveau (60-70 nmol/mg) uafhængig af lage (med/uden antioxidant) og behandling (ikke-højtryk/højtryk). Dette betyder, at højtryksbehandling ved 6000 bar af vakuumpakket kød ikke accelererer thioloxidation, hvilket indikerer, at proteinerne ikke oxideres under lagring i op til 48 dage.

#### *Holdbarhed*

Højtryk forlængede den mikrobiologiske holdbarhed af fersk marineret kød til minimum 6 uger, hvor kimtallet lå mellem 1 og 2 log CFU i både de vakuumpakkede og MAP-produkter. Efter 42 dage begyndte kimtallet at stige. I de ikke-højtryksbehandlede produkter lå kimtallet efter 16-20 dage på ca. 8 log CFU. Bakteriesporer inaktiveres ikke ved højtryk, produkterne skal derfor opbevares under 3°C for at undgå vækst af psykrotrofe sporedannende bakterier.

#### *Konklusioner*

Højtryksbehandling ved 6000 bar i 60 minutter forlængede den mikrobiologiske holdbarhed til minimum 42 døgn både i vakuum og i MAP. Højtryksbehandling gav produkterne et gråt udseende, især de MA-pakkede koteletter. Højtryksbehandling gav mere saftige men mindre møre produkter end produkter uden højtryksbehandling.



En kombination af højtryk og MA-pakning gav produkterne bismag og accelererede både lipidoxidation og proteinoxidation, hvor grøn te-ekstrakt kun havde en lille effekt mod lipidoxidation. I vakuumpakning sås ingen lipidoxidation og proteinoxidation under lagring

Ud fra ovenstående vurderes det, at vakuumpakning er velegnet til højtryksbehandling af fersk kød, hvorimod MA-pakning med højt indhold af ilt ikke er velegnet i kombination med HPP.

### **Litteraturstudie vedr. alternative pakkemetoder**

#### *Indhold*

Formålet med notatet var at give et overblik over forskellige former for emballering af fersk kød samt at beskrive de nyeste tendenser inden for emballering af fersk kød. Indholdet er baseret på søgninger og information fra de pågældende emballagevirksomheder.

#### *Nyeste trends*

##### *Sealed Air*

- Der er stigende efterspørgsel på transparente emballager frem for de traditionelt farvede bakker eller underbaner. På det svenske marked har man oplevet en øget omsætning på 20% ved at skifte til transparente bakker. Brugen af den transparente bakke har også medført en øget reklamation over kødsaft i bakken.
- Interessen for at anvende 3-web er stigende, især inden for højkvalitetskøddprodukter.
- Sealed Air har desuden introduceret en ready to cook-emballage, der kan hjælpe kunden med at undgå håndtering af det rå kød.

##### *Færch Plast*

- I udviklingen af nye bakketyper fokuseres der bl.a. på bæredygtighed. Der anvendes kun monoplastmaterialer som Mo-PP (15% af PP-materialet er erstattet af talkum) og rPET (genanvendt plast fra bl.a. sodavandsflasker), hvilket øger genanvendeligheden af bakkerne. Bakkernes udformning optimeres og minimeres, så der anvendes mindre materiale til at fremstille bakkerne.
- For at imødekomme problemet med utætte pakninger på grund af produktrester på kanterne har Færch udviklet en speciel klæber, der lægges på kanten, hvor topfilmen skal sejses. Specialklæberen gør det muligt at svejse en tæt topfilm på bakken, selv om der skulle være produktrester på kanten.

##### *Sealpac*

- Tilbyder TenderPac®, der er en termoformet emballage, der er opbygget af 2 rum. I det ene rum er kødet placeret, og det andet rum tjener som en opsamlingsbeholder for den væske, der vil dannes under lagringsforløbet. Producenten mener, at kødet får den bedst mørning i denne emballage, samtidigt med at det kan præsenteres som en traditionel liggende pakning i kølemontre eller præsenteres hængende.

### *DuPont Teijin Films*

- Der fokuseres på at reducere emballagemængden, og DuPont fremhæver deres Mylar®Cook-emballage som et eksempel på en alternativ måde at minimere ressourceforbruget. Levnedsmidler, der er emballeret i Mylar Cook, kræver 30% kortere tilberedningstid, hvorved der spares energi og tid.

### **Litteraturstudie vedr. perspektiver for anvendelse af HPP**

Fra 2000 er der sket en næsten eksponentiel udvikling i antallet af industrielle HPP-anlæg fra 12 anlæg i 2000 til 235 anlæg i 2013. Den globale produktion af HPP-produkter var i 2012 minimum 350.000 ton og havde en markedsværdi på 18.000.000.000 kr. i 2013. Kød og vegetabiliske produkter udgør den største del på hhv. 26% og 29% af de industrielle applikationer. Prisen for at højtryksbehandle 1 kg produkt ligger på omkring 0,50 kr. alt inklusiv (afskrivninger, vedligehold, arbejdskraft m.v.). Der findes anlæg fra 50-520 liter. Ved 2-holdsdrift (300 dage/år) vil der kunne produceres mellem ca. 1.131 ton og 13.341 ton på de pågældende anlæg.

### *Nuværende marked*

Brug af højtryk til fersk kød og kødprodukter er især udbredt i USA, Canada, Spanien og Tyskland. Det største produkt er listeriafri slicede kødprodukter, varmebehandlede og saltede, tørrede produkter og færdigretter til det amerikanske og canadiske marked, hvor højtryk bruges som en efterpasteurisering af produktet i emballagen. Højtryk bruges også til clean label patogenfrie kødprodukter, færdigretter og pølser. I USA fremstiller Cargill højtryksbehandlede hamburgere for at undgå patogener som fx Coli i kødet. I Spanien har der været marineret, fersk svinekød og kyllingekød på markedet med en holdbarhed på 6 uger.

### **Perspektiver**

#### *Fersk kød*

Brug af højtryk til fersk kød er begrænset, da kødet får et kogt udseende, hvilket kunder sandsynligvis vil fravælge med mindre farveændringen kan maskeres ved fx bruning af overfladen eller marinering. Fordelen ved højtryk til fersk kød er, at det kan fjerne patogener som fx Salmonella, Coli og Listeria og samtidig forlænge holdbarheden. Det betyder samtidig, at højtryksbehandlede kødstykker ikke behøver at blive gennemstegt efterfølgende, hvilket kan have positive effekter på de sensoriske egenskaber og svind under den efterfølgende tilberedning. Det kan være perspektivrigt i forhold til catering.

Mange forsøg peger på, at højtryksbehandling af pre-rigor kød ved lave tryk på 1000-1500 bar mørner kødet. Endnu mere interessant er nye forsøg, som viser, at højtryk af post-rigor kød ved 1000-2000 bar og 60°C mørner kødet, hvilket måske kan have perspektiver for cateringprodukter. Forsøg har vist, at højtryksassisteret optøning af fersk kød ved 2000-3000 bar kan bevare kvaliteten af kødet og måske endda give et drab af bakterier under optøning. Højtryksassisteret frysning ved omkring 2000 bar giver homogent fordelt meget små iskrystaller i kødet sammenlignet med air blast køling og nitrogenfrysning, hvilket måske kan lede til en kvalitetsforbedring af frosset kød.

## Kødprodukter

Højtryk vil altid have potentiale til efterpasteurisering af emballerede varmebehandlede eller tørrede kødprodukter og færdigretter, da processen ikke påvirker produktet. I fremtiden er det dog muligt, at højtryk i højere grad vil kunne bruges i forbindelse med produktudvikling. Højtryk af kødprodukter påvirker ikke kun kødets egne proteiner, men også struktur og funktionalitet af fedtstoffer, stivelser og vegetabiliske proteiner i produktet. Derfor er det muligt at udvikle helt nye produkter med anderledes funktionalitet, smag og struktur. Mange undersøgelser peger bl.a. på, at højtryk kan bruges i lavsaltholdige produkter til at forbedre tekstur og vandbindingsevne. Der er således mange perspektiver. Udfordringen er, om fordelene, der opnås, kan bære den ekstra omkostning, højtryk vil påføre, med mindre højtryk samtidig kan reducere procesomkostningerne.

### Sammenfatning

På baggrund af en lang række lagringsforsøg med fersk og marineret svinekød, kan det sammenfattes, at:

- der ingen holdbarhedsforlængende effekt er ved iltfri MA-pakning vs traditionel MA-pakning for fersk og lagesaltet svinekød, mens der er en øget holdbarhed af overflademarineret svinekød ved iltfri MA-pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>.
- spisekvaliteten optimeres, jo lavere oxygenindholdet er i pakken, og oxygen kan reduceres til 40% O<sub>2</sub> uden at gå på kompromis med holdbarheden. Men i relation til spisekvalitet er iltfri MA-pakning optimalt, idet harskning minimeres maksimalt. Dette dog med undtagelse af flæsk i skiver.
- holdbarheden øges en smule, når kuldioxidkoncentrationen i headspace øges til 40% CO<sub>2</sub>, men det kan resultere i mere hullet kød og øget stegesvind med reduceret saftighed til følge.
- anvendelse af UltraZap sugeserviet til forøgelse af holdbarheden i bedste fald kan betyde op til 4 dages ekstra holdbarhed, men virkningen vil typisk være på 1-2 ekstra dage og veksle tilfældigt mellem pakkegasser og produkttyper. I enkelte tilfælde ses ingen effekt og i andre tilfælde vil holdbarheden være kortere end for tilsvarende pakker uden sugeserviet.
- højtryksbehandling af vakuumpakket og MA-pakket svinekød kunne forlænge holdbarheden med en faktor 5 fra 8-9 dage og op til 42 dages holdbarhed, dog ikke uden væsentlig misfarvning på kødets overflade.

### DMRI's anbefalinger for optimal forbrugerpakning af fersk og marineret svinekød

#### Hakket svinekød

Det er ifølge nærværende undersøgelse ikke muligt at finde en 100% optimal pakkegas til detailpakning af hakket svinekød, hvor kvalitet optimeres, og holdbarheden som minimum fastholdes. Derfor er følgende guidelines udarbejdet for MA-pakning af hakket svinekød:

For **maksimal holdbarhed** anbefales at MA-pakke hakket svinekød i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> eller 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub>. Desværre medfører pakning i 10% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub> en kraftig misfarvning dag 2, og pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> medfører

putrid lugt ved åbning. En kombination af 40% O<sub>2</sub> + 30-40% CO<sub>2</sub> + 20-30% N<sub>2</sub> bør testes for optimering af holdbarhed og med sandsynlighed for minimering af risikoen for harskning.

For maksimal **spisekvalitet** anbefales iltfri MA-pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>, idet kødet får en mere intens kødsmag end ved pakning i 40-80% O<sub>2</sub> samt mere saftige krebinetter end ved pakning i 50-80% O<sub>2</sub>. Strukturen bliver desuden mindre fast end ved traditionel pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>, og der er ingen PMB.

DMRI anbefaler følgende pakkegas til MA-pakning af hakket svinekød

Hakket svinekød	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Effekt
<b>Holdbarhed</b>				Udseende↑
Lugt: 7-8 dage	0-10%	20-40%	50-80%	Smag↑
Farve: >13 dage				Tekstur↑

#### Schnitzler & koteletter

Anbefalinger for schnitzler og koteletter er samlet til én, da disse produkter responderer ens på skift fra traditionel MA-pakning til 3-gas MAP.

For **maksimal holdbarhed** anbefales at pakke koteletter og schnitzler i 50% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub> + 10% N<sub>2</sub>, men dette kan ikke anbefales, da det forhøjede CO<sub>2</sub>-indhold fra 20-40% påvirker stegesvind, saftighed og huldannelse negativt. Desuden vil kødet se mere gennemstegt ud (PMB), end når kødet pakkes i kun 20% CO<sub>2</sub>.

For **maksimal spisekvalitet** anbefales MA-pakning i 40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub>, da holdbarheden er uændret, og farvestabiliteten forbedres. Desuden øges mørhed, og risiko for PMB samt OWF af harsk smag reduceres, mens saftighed og stegesvind er lig traditionel MA-pakning. Holdbarheden kan muligvis øges ved at anvende 30% CO<sub>2</sub>, dog med risiko for øget svind.

DMRI anbefaler følgende pakkegas til MA-pakning af koteletter og schnitzler

Schnitzler og koteletter	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Effekt
<b>Holdbarhed</b>				Udseende↑
Lugt: 9-12 dage	40%	20-30%	30-40%	Smag↑
Farve: > 13 dage				Tekstur↑

#### Flæsk i skiver

For **maksimal holdbarhed** i MAP anbefales at MA-pakke flæsk i skiver i iltfri MAP med 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub>, 3-gas-MAP med 50% O<sub>2</sub> + 40-50% CO<sub>2</sub> + 0-10% N<sub>2</sub> eller traditionel MAP med 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>.

For **maksimal spisekvalitet** anbefales at MA-pakke flæsk i skiver med 50% O<sub>2</sub> + 40-50% CO<sub>2</sub> + 0-10% N<sub>2</sub>, da denne pakkegas medfører mere sprødhed, mens gammel smag, grisesmag og sødlig smag reduceres i forhold til pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>. Harsk og genopvarmet smag var ikke påvirket af oxygenkoncentrationen, selvom der var et højere niveau af lipidoxiderationsprodukter, jo mere oxygen der var i pakkerne, var niveauerne så lave, at det ikke gav anledning til smagsforskelle.

DMRI anbefaler følgende pakkegas til MA-pakning af flæsk i skiver

Flæsk i skiver	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Effekt
<b>Holdbarhed</b>				
Lugt: 5-6 dage	40-50%	40-50%	0-10%	Tekstur ↑
Farve: > 9 dage				

*Stiksaltede kamkoteletter*

Der findes ikke én ideel pakkegas til detailpakning af saltede kamkoteletter, da optimal spisekvalitet betyder, at der går på kompromis med holdbarheden.

For **optimal holdbarhed** kan MA-pakning i 40% O<sub>2</sub> + 30-40% CO<sub>2</sub> + 20-30% N<sub>2</sub> anvendes som alternativ til traditionel pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>, idet holdbarheden er uændret. Den nye pakkegas vil desuden betyde, at kvaliteten optimeres, idet premature browning samt harsk og sur smag reduceres.

For **optimal spisekvalitet** kan MA-pakning i en iltfri atmosfære med 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> anvendes. Et skift til denne pakkegas vil også reducere premature browning samt harsk og sur smag, men samtidig reducere hårdheden af kødet. Ulempen ved denne pakkegas er, at holdbarheden er ca. 2 dage kortere.

Derfor anbefales én af følgende pakkegasser til MA-pakning af saltede kamkoteletter

Stiksaltede koteletter	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Effekt
Lugt: 8-9 dage	40%	30-40%	20-30%	Udseende↑
Farve: 11 dage				Smag↑
Lugt: 6-7 dage	0%	20%	80%	Udseende↑
Farve: 8 dage				Smag↑
				Tekstur↑

*Overflademarineret svinekød*

Ønskes en alternativ pakkemetode til traditionel MA-pakning i 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> af overflademarineret svinekød, vil iltfri MA-pakning i 20% CO<sub>2</sub> + 80% N<sub>2</sub> være en mulighed, da holdbarheden som minimum fastholdes, og kvaliteten optimeres. Da produktet er præget af, at marinadens egensmag dominerer, giver ændringer i pakkegassen kun anledning til minimale smagsforskelle. Pakkes uden ilt, vil kødsmagen desuden intensiveres, og premature browning og gammel smag reduceres.

DMRI anbefaler følgende pakkegas til MA-pakning af overflademarinerede svinekød

Overflademarineret svinekød	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Effekt
Lugt > 13 dage	0%	20%	80%	Udseende ↑
Farve > 13 dage				Smag ↑

### Formidling

*DMRI-rapporter*

Rapport – 'State of the art – Betydning af pakkegas i MAP' af Mari Ann Tørngren, 24.05.2013.

Notat – 'Nyeste emballeringsformer til pakning af fersk kød' af Jens Svendsen, 14.10.2013.

Rapport – 'Lagringsstabilitet af filet og hakket svinekød i forskellige MAP-gassammensætninger (forsøg)' af Mari Ann Tørngren, 11.09.2012

Rapport – 'Optimeret detailpakning af stegeflæsk i skiver – holdbarhed og kvalitet' af Mari Ann Tørngren og Mianne Darré, 20.03.2013

Rapport – 'Optimeret detailpakning af hakket svinebov – holdbarhed og kvalitet' af Mari Ann Tørngren og Mianne Darré, 20.03.2013

Rapport – 'Optimeret detailpakning af koteletter med ben – holdbarhed' af Mari Ann Tørngren og Mianne Darré, 15.08.2013

Rapport – 'Optimeret detailpakning af koteletter uden ben – holdbarhed og kvalitet' af Mari Ann Tørngren og Mianne Darré, 20.03.2013

Rapport – 'Optimeret detailpakning af skinkeschnitzler – holdbarhed og kvalitet' af Mari Ann Tørngren og Mianne Darré, 20.03.2013

Rapport – 'Guidelines for detailpakning af fersk svinekød – koteletter, hakket bov, skinkeschnitzler og flæsk i skiver' af Mari Ann Tørngren, 14.03.2013

Rapport – 'Holdbarhed og kvalitet af saltet og/eller marineret MA-pakket svinekød – saltede kamkoteletter (forsøg 1)' af Mari Ann Tørngren, 16.04.2014.

Rapport – 'Holdbarhed og kvalitet af saltet og/eller marineret MA-pakket svinekød – saltede og overflademarinerede kamkoteletter (forsøg 2)' af Mari Ann Tørngren, 16.04.2014.

Rapport - 'Holdbarhed og kvalitet af saltet og/eller marineret MA-pakket svinekød – overflademarinerede nakkekoteletter (forsøg 3)' af Mari Ann Tørngren, 16.04.2014.

Rapport – 'Holdbarhed og kvalitet af saltet og/eller marineret MA-pakket svinekød – Guidelines for detailpakning af marineret svinekød' af Mari Ann Tørngren, 27.01.2013.

Rapport – 'Phenoliske antioxidanters betydning for spisekvalitet af MA-pakket, lagesaltet svinekam' af Mari Ann Tørngren og Mianne Darré, 18.09.2014

Rapport – 'Højtryks holdbarhedsforlængende effekt med og uden tilsætning af antioxidant' af Lise Nersting, Mari Ann Tørngren og Mianne Darré, 17.12.2014.

Notat – 'Højtryk til fersk kød og kødprodukter, perspektiver og udfordringer' af Lise Nersting, 09.03.2015

- Konferencer*  
*'Detailpakning'*
- Jongberg, S., Tørngren, M. A., Gunvig, A., Skibsted, L.H., Lund, M. N (2012). Antioxidative mechanism against protein oxidation in Bologna type sausage added Green Tea or rosemary, poster, IUFoST, Brazil.
- Tørngren, M. A., Darré, M. T. & Kristensen, L. (2013). Optimising the eating quality and shelf life of retail pork cuts using muscle-specific three-gas MA-packaging. 59<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), Izmir, Turkey
- Spanos, D., Baussá, L., Caroline P. Baron, C.P., Tørngren, M.A. (2014). Minimising protein oxidation in retail-packed beef using three-gas MA-packaging. 60<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), Punta Del Este, Uruguay
- Tørngren, M.A. (2014). Optimising eating quality and shelf life of enhanced and marinated pork chops using three-gas MAP. 60<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), Punta Del Este, Uruguay.
- Tørngren, M.A. & Darré, M. (2015). Three-gas MAP is optimizing quality and shelf life of retail packed beef steaks. 61<sup>st</sup> International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), Clermont-Ferrand, France.
- Videnskabeligt*  
*'detailpakning'*
- Jongberg et al. (2013). Effect of Green Tea or Rosemary extract on protein oxidation in Bologna type sausages prepared from oxidatively stressed pork. *Meat Science* 93, 538-546.
- Jongberg, S., Wen, J., Tørngren & M. A., Lund, M.N. (2014). Effect of high-oxygen atmosphere packaging on oxidative stability and sensory quality of two chicken muscles during chill storage. *Food Packaging and Shelf Life* 1, 39-48.
- Spanos, D., Christensen, M., Tørngren, M. & Baron, C. (2015). Visible spectroscopy as a tool for the assessment of storage conditions of fresh pork packaged in modified atmosphere. *Meat Science* (accepted):
- Spanos, D., Tørngren, M., Christensen, M., & Baron, C. (2015). Effect of oxygen level on the oxidative stability of two different retail pork products stored using modified atmosphere packaging (MAP). *Meat Science* (accepted):
- Messer og workshops*
- 1<sup>st</sup> International Summer School (2011)**. 'Packaging & Ageing' afholdt på Max Rubner Institute (MRI) i Kulmbach. Der deltog 39 personer fra 19 lande. Chairman og koordinator var Ralf Lautenschläuger. 18. – 21. oktober 2011.
- Mestermøde 2012**, foredrag og workshops afholdt i Horsens. Der blev gennemført show-room med 16 stande omhandlende emballering af fersk kød af virksomheder og DMRI. DMRI formidlede viden om 'Ny viden om LTLT & HPP', 'Sænk temperaturen i skærestuen – længere holdbarhed', 'Detailpakning – MAP vs skinpakning', 'Fedtmåler til detailpakket kød', 'Fremmedlegemer – plast, ben & metal', 'CT scanning – hvad kan

det bruges til?', 'Det gyldne snit', 'Råvarer til Asien', 'Køling med spænding', 'Prøv modellen – DMRI predict', 18-19.09.12 + 20-21.09.12

**Food Tech 2012:** Besøg og netværk, Herning, 13.11.2012

**IFFA 2013:** DMRI stand, besøg og netværk, Frankfurt maj 2013.

**Døgnet 2014.** Center for Idé og Vækst afholdt workshop for TI-medarbejdere. Udfordring: 'Hvordan skal kød pakkes og sælges i fremtidens detailhandel?'

*Mundlig formidling*

- Packaging & Ageing, 1<sup>st</sup> International Summer School, Max Rubner Institute (MRI) i Kulmbach 18. - 21.10.2011.
- Status, resultater og planlægning: 1. styregruppemøde 11.05.2012
- Mestermøde 2012, foredrag og workshops afholdt i Horsens, 'Ny viden om LTLT & HPP', 'Sænk temperaturen i skærestuen – længere holdbarhed', Detailpakning – MAP vs skinpakning', 'Fedtmåler til detailpakket kød', 'Fremmedlegemer – plast, ben & metal', 'CT-scanning – hvad kan det bruges til?', 'Det gyldne snit', 'Råvarer til Asien', 'Køling med spænding', 'Prøv modellen – DMRI predict', 18-19.09.12 + 20-21.09.12
- Længere holdbarhed af fersk svinekød, seminar for Tican og DC, 07.02.2013
- Status for 'Optimeret detailpakning', porteføljestyregruppemøde 02.04.2013
- Pakkemøde. Besøg af Færch Plast og Sealed Air 21.08.2013
- Status, resultater og planlægning: 2. følge-/styregruppemøde 15.02.2013
- Guidelines for optimal detailpakning. Informationsmøde hos DC Herning 12.06.2013
- Detailpakning MAP vs. Skinpakning. Besøg af NEMCO 16.09.2013
- Shelf-life and packaging. Besøg af svensk detailhandel 22.10.2013
- Packaging and eating quality. Besøg af Cryovac Sealed Air 12.12.2013
- MAP Svinekød – Advisory board meeting DTU 22.01.14
- Status, resultater og planlægning: 3. følge-/styregruppemøde 28.02.2014
- 'Modification of protein functionality by phenolic antioxidants, Dupont 09.07.2014.
- Gateovergang for 'Optimeret detailpakning', porteføljestyregruppemøde 05.09.2014
- Packaging. Besøg af Bemis 11.11.2014
- Gateovergang for 'Optimeret detailpakning', porteføljestyregruppemøde 11.12.2014
- Afsluttende informationsmøde hos DC Herning 02.02.2015
- Hvad er god kvalitet af centralpakket kød? Virksomhedsseminar 02.11.2015
- Perspektiver – fra MAP til CAP. Virksomhedsseminar 02.11.2015

*Andre medier*

Madmagasinet på DR1, 'Kvalitet af hakket kød', 11.11.2014

Radioavisen, DMRI hakket kød, 11.11.2014

TVA kl. 17.50, hakket kød, 11.11.2014

TVA kl. 18.30, hakket kød. 11.11.201

<http://www.dr.dk/levnu/mad/emballagen-forringer-koedets-kvalitet>

<http://www.dr.dk/levnu/mad/gode-raad-om-hakket-koed>



Tørngren, M. & P.A. Karlsen (2011). Kød kvalitet er mere end lang holdbarhed. Fødevaremagasinet, nr. 8, september 2011.

Aaslyng, M. & Tørngren, M.A. (2015). Den gode smag i måltidet. Fødevaremagasinet. TEMA: kød, fisk, delikatesser og økologi, p. 18.

Tørngren & Darré (2015). Detailpakning af fersk kød – kan vi optimere pakkegassen? Fødevaremagasinet. December 2015.

#### *Ansøgninger*

Forsknings- og innovationsstyrelsen. Antioxidant mechanisms of natural phenolic compounds against protein cross-link formation in meat and meat systems. Ansøgt af KU under individuelle postdoc-stipendier for perioden 2012-2014 (bevilliget til Sisse Jongberg).

Danish Council for Strategic Research (DSF). 'Sustainable packaging of meat' (SuP-MEAT), indsendt 2012 (afslag).

Norma & Frode S. Jacobsens Fond. 'Muskelspecifik stabilitet af svinekød pakket i modificeret atmosfære under kølelagring'. Støtte til 3-årigt ph.d.-projekt ansøgt for perioden 2013-2015 (bevilliget til Demitrios Spanos indskrevet på DTU, Fødevareinstituttet, Afdeling for Fødevareindustriel Forskning).

Norma & Frode S. Jacobsens Fond. 'Modellering af oxidationsprocesser i fersk kød'. Støtte til 3-årigt ph.d.-projekt ansøgt for perioden 15.09.2014 – 14.09.2017 (bevilliget til Jon Tofteskov indskrevet på RUC's ph.d.-skole under Institut for Natur, Systemer og Modeller).

ForskningsFonden – Forskning, Teknologi & Vækst i Danmark. 'Improved meat shelf life with dynamic multiscale modelling' (IMUMO): Indsendt den 28. april 2014 (afslag).

#### **Referencer**

Hviid, M., Bejerholm, C. & Christensen, H. (2007). Case Ready svinekød. Sammenligning af 9 forskellige gasblandinger. DMR1 rapport af 25. oktober 2007. Projekt 03774, dokument 43833.1.

Esmer, O., Irkin, R., Degirmencioglu, N., and Degirmencioglu, A. 2011. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat. Meat Science 88:221-226.

Jongberg, S.; Skov, S. H.; Tørngren, M. A.; Skibsted, L. H.; Lund, M. N. Effect of white grape extract and modified atmosphere packaging on lipid and protein oxidation in chill stored beef patties. Food Chem. 2011, 128 (2), 276-283.

Jongberg, S.; Tørngren, M. A.; Gunvig, A.; Skibsted, L. H.; Lund, M. N. Effect of green tea or rosemary extract on protein oxidation in Bologna type sausages prepared from oxidatively stressed pork. Meat Sci. 2013, 93 (3), 538-546.

Jongberg, S.; Lund, M. N.; Østdal, H.; Skibsted, L. H. Phenolic Antioxidant Scavenging of Myosin Radicals Generated by Hypervalent Myoglobin. *J. Agric. Food Chem.* 2012, 60 (48), 12020-12028.

Jongberg, S.; Lund, M. N.; Skibsted, L. H.; Davies, M. J. Competitive reduction of ferrylmyoglobin radicals by protein thiols and plant phenols. *J. Agric. Food Chem.* 2014, 62 (46), 11279-11288.

Jongberg, S. Antioxidative protection of protein in meat and meat systems. PhD Faculty of Sciences, University of Copenhagen, SL Grafik, Frederiksberg, Denmark, 2012.

Miura, Y.; Inai, M.; Honda, S.; Masuda, A.; Masuda, T. Reducing Effects of Polyphenols on Metmyoglobin and the in Vitro Regeneration of Bright Meat Color by Polyphenols in the Presence of Cysteine. *J. Agric. Food Chem.* 2014, 62 (39), 9472-9478.

Nieto, G.; Jongberg, S.; Andersen, M. L.; Skibsted, L. H. Thiol oxidation and protein cross-link formation during chill storage of pork patties added essential oil of oregano, rosemary or garlic. *Meat Sci.* 2013, 95 (2), 177-184.

Utrera, M.; Estevez, M. Impact of trolox, quercetin, genistein and gallic acid on the oxidative damage to myofibrillar proteins: The carbonylation pathway. *Food Chem.* 2013, 141 (4), 4000-4009.

Lund, M. N.; Lametsch, R.; Hviid, M. S.; Jensen, O. N.; Skibsted, L. H. High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage. *Meat Sci.* 2007, 77 (3), 295-303.

Jongberg, S.; Wen, J.; Tørngren, M. A.; Lund, M. N. Effect of high-oxygen atmosphere packaging on oxidative stability and sensory quality of two chicken muscles during chill storage. *Food Packaging and Shelf Life* 2014b, 1 (1), 38-48.

Jongberg, S.; Terkelsen, L. d.; Miklos, R.; Lund, M. N. Green tea extract impairs meat emulsion properties by disturbing protein disulfide cross-linking. *Meat Sci.* 2015, 100 (0), 2-9.

Jongberg, S.; Lund, M. N.; Waterhouse, A. L.; Skibsted, L. H. 4-Methyl catechol inhibits protein oxidation in meat but not disulfide formation. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 10329-10335.

Le Bourvellec, C.; Renard, C. M. G. C. Interactions between Polyphenols and Macromolecules: Quantification Methods and Mechanisms. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012, 52 (1-3), 213-248.

Ozdamar, T.; Capanoglu, E.; Altay, F. A review on protein-phenolic interactions and associated changes. *Food Res. Int.* 2013, 51 (2), 954-970.