



# Notat

## Patogenfrit kød

### Evaluerings af koldt plasma til dekontaminering af fersk kød

Tomas Jacobsen

28. november 2023

Proj.nr. 2010422

Version 1

Init. TJAN/MT/NBS

#### Indledning

#### Sammendrag

Inden for de sidste ca. 20 år har der været arbejdet med at reducere bakterier på fødevarer ved hjælp af koldt plasma. Der har været afprøvet forskellige metoder til at generere det kolde plasma, ligesom mange forskellige gasarter og blandinger har været afprøvet.

DMRI har i to projekter arbejdet med koldt plasma og kød eller kødprodukter. Fra 2006 til 2012 blev der i samarbejde med Forskningscenter Risø gennemført forsøg med at dekontaminere objekter i en lukket beholder ved hjælp af koldt plasma, at dekontaminere en roterende slicekniv samt at inaktivere *Listeria innocua* i spiseklare kødprodukter med koldt plasma (Leipold et al. 2010, 2011 og Rød et al., 2012). Senere har der været foretaget afprøvnings af en prototype til kold plasmabehandling af MA-pakket kød og kødprodukter i EU-projektet MEATPACK (2015-2016).

Nyere litteratur om emnet er blevet gennemgået og medtaget i dette notat.

#### Konklusion

Koldt plasma kan genereres på flere forskellige måder, men alle metoderne anvender en høj spænding (mange kV) og en vekselstrøm med meget høj frekvens fra 15 kHz og op til radiofrekvensområdet på MHz. Plasma genereres ofte ved, at der meget kortvarigt sendes et "burst" af energi på få  $\mu$ S efterfulgt af meget længere perioder uden strøm, så det samlede watt-forbrug ikke bliver så stort.

Plasma, der genereres i atmosfærisk luft, skal bruge høje spændinger. For hver gang afstanden mellem elektroderne i et DBD-plasmaanlæg i atmosfærisk luft øges med 1 cm, skal der bruges en spænding, der er 30.000 V større. Hvis halve grise eller større udskæringer af gris skal behandles på denne måde, kræves flere hundrede tusind volt (V).

Plasma genereret med en jet kan i øjeblikket kun anvendes på meget små områder på nogle få  $\text{cm}^2$ . For at få et langtrækkende plasma anvendes ofte ædelgasser. Disse vil være alt for kostbare at anvende i en industriproduktion.

Ved forsøg med dekontaminering af kød med koldt plasma er der i mange tilfælde fundet meget lave eliminerings af bakterier mellem 0 og 1 log CFU. I de tilfælde, hvor der er opnået højere eliminering af bakterier, har behandlingen medført, at kødet fik ændret farve og smag, og derfor er disse metoder ikke egnede.

Den eneste metode, der her er beskrevet, som har været afprøvet i pilot- eller produktionsskala, er plasmaaktiveret vand (PAV). Denne metode har været afprøvet på en produktionslinje for skåret færdigsalat. Metoden har også været afprøvet på et kyllingeslagteri, hvor den gav 1 log reduktion ved at behandle slagtekyllingerne med en tåge af PAV. Effekten af PAV kan måske øges ved at bruge opløsninger af svage syrer i stedet for rent vand.

EU-lovgivningen tillader ikke, at fersk kød af gris skylles eller neddyppes i vand eller væsker. I EU er det kun tilladt at anvende opløsninger af mælkesyre til reduktion af mikrobiologisk overfladeforurening på slagtekroppe af kvæg (Kommissionens forordning (EU) Nr. 101/2013 af 4. februar 2013). For at kunne anvende plasmabehandlet vand på grisekød kræves der derfor ændringer af EU-lovgivningen.

Anvendelse af plasma til at producere patogenfrit grisekød anses efter ovenstående ikke at være realistisk.

### Fremgangsmåde

Der er foretaget litteratursøgning på "cold plasma processing/treatment or non-thermal plasma processing/treatment" fra de seneste 5 år.

Søgningen gav 102 hits. På baggrund af titler blev der udvalgt 22 artikler, hvor der på baggrund af abstracts blev udvalgt 10 artikler.

Ud over disse artikler er også anvendt conferenceabstracts, reviews og henvisninger fra disse.

I de forsøg, der blev gennemført med deltagelse af DMRI, viste forsøg med kold plasmabehandling i atmosfærisk luft af en roterende slicekniv, at det kolde plasma kunne reducere *Listeria innocua* med 4 log CFU/cm<sup>2</sup> i løbet af 68 sekunders behandlingstid (kniven var kun i plasma i ca. 12% af tiden) ved et koldt plasma med 360 W. Ved denne høje effekt blev der dannet NO i plasmaet, mens der ved lavere energiindstillinger blev dannet ozon (Leipold et al., 2010).

Plasmabehandling af *L. innocua* i en lukket beholder med en gas bestående af 97,5% argon og 2,5% ilt viste, at *L. innocua* spredt på objektglas blev reduceret med 5 log CFU/cm<sup>2</sup> ved 5 min. behandlingstid. Der var op til 140 ppm ozon i gasblandingen i den lukkede beholder (plastemballage) (Leipold et al., 2011).

Plasmabehandling af slicet bresaola podet med *L. innocua* viste, at der kunne opnås  $0,8 \pm 0,4$  til  $1,6 \pm 0,5$  log CFU/g reduktion af *L. innocua* ved plasmabehandling i en lukket beholder med en gas af 30% ilt og 70% argon. Der var ingen dosis-respons af tid eller intensitet af plasmabehandlingen. Tilsvarende behandling af slicet hamburgerryg gav denne behandling ingen reduktion af *L. innocua*. Årsagen til denne forskel blev tilskrevet, at bresaola indeholdt 55% vand, mens hamburgerryg indeholdt 70% vand. Plasmabehandlingen øgede harskningen af bresaolaen (Rød et al., 2012).

I EU-projektet MEATPACK blev koldt plasma afprøvet til dekontaminering af grisekam og lammeculotte samt saltet og kogt kalkun.

Plasma blev genereret i de gaspakkede produkter ved 80.000 V og 1,6 A. Saltet og kogt kalkun var pakket i 70% N<sub>2</sub>/30% CO<sub>2</sub>, grisekam var pakket i 70% O<sub>2</sub>/30% CO<sub>2</sub>, og lammeculotte i 75% O<sub>2</sub>/25% CO<sub>2</sub>. Der blev anvendt en plasmabehandling på 80 kV i 1 min.

Produkterne blev podet med en cocktail, der indeholdt *Campylobacter*, VT *E. coli* samt *Listeria monocytogenes*, og for de ferske produkter desuden *Salmonella*, mens det kogte produkt desuden blev tilsat *Staphylococcus aureus*.

Der blev ikke fundet nogen reduktion af bakterierne på hverken de ferske eller det kogte kødprodukt, selvom der blev dannet store mængder ozon i pakkerne.

Hvis podcocktailen af bakterier blev testet på plastikoverflader i stedet for på kødprodukter, blev der fundet reduktion af bakterier på 1-5 log CFU efter 1 min. behandling, og mere end 4-5 log CFU ved 5 min. behandling. Podcocktailen podet på grisekød gav ingen reduktion ved 1 eller 5 min. behandling. Dette viser, at udstyret kunne generere et virksomt plasma i pakkerne (Koch et al., 2016).

Årsagen til, at plasmabehandlingen ikke virkede på kødoverfladerne, kunne være det høje vandindhold i kød og kødprodukter, eller at de reaktive ioner og molekyler reagerer lige så meget med kødoverfladerne som med bakterierne, og at bakterierne udgør en meget lille del af overfladen.

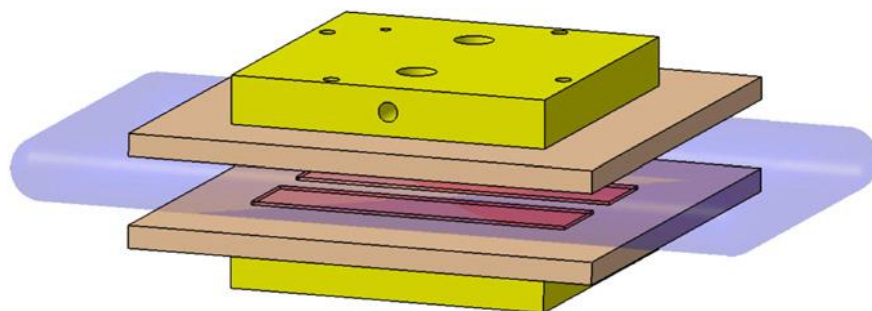
**Table 3** Overview on inactivation effects of plasma-based technology on different bacteria

| Technology                                | Matrix         | Bacterial species                  | Parameter                                               | Maximum reduction                 | Reference |
|-------------------------------------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Dielectric barrier discharge plasma (DBD) | Chicken breast | <i>Campylobacter jejuni</i>        | 70 kV, 300 s+5-day storage                              | About 1 log CFU/ml                | [69]      |
|                                           |                | <i>Salmonella</i> Typhimurium      |                                                         |                                   |           |
|                                           | Chicken breast | <i>Listeria monocytogenes</i>      | 2–100 W, 15 kHz, 10 min                                 | 2.14 log CFU/g                    | [54]      |
|                                           |                | <i>Escherichia coli</i>            |                                                         | 2.73 log CFU/g                    |           |
|                                           |                | <i>Salmonella</i> Typhimurium      |                                                         | 2.71 log CFU/g                    |           |
|                                           | Beef           | <i>Escherichia coli</i> (n =4)     | 20 MHz, 6 kV, 5 min                                     | 1.82 log CFU/cm <sup>2</sup>      | [71]      |
|                                           | Beef loin      | <i>Listeria monocytogenes</i>      | N <sub>2</sub> and O <sub>2</sub> , 2 W, 15 kHz, 10 min | 1.90 log CFU/g                    | [72]      |
|                                           |                | <i>Escherichia coli</i> O157:H7    |                                                         | 2.57 log CFU/g                    |           |
|                                           |                | <i>Salmonella</i> Typhimurium      |                                                         | 2.58 log CFU/g                    |           |
|                                           | Pork butt      | <i>Listeria monocytogenes</i>      |                                                         | 2.04 log CFU/g                    |           |
| Corona discharge plasma jet (CDPJ)        |                | <i>Escherichia coli</i> O157:H7    |                                                         | 2.54 log CFU/g                    |           |
|                                           |                | <i>Salmonella</i> Typhimurium      |                                                         | 2.68 log CFU/g                    |           |
|                                           | Chicken breast | <i>Salmonella</i>                  | 14.5 W, 10 min                                          | 3.7 log CFU/s                     | [68]*     |
|                                           | Pork           | <i>Escherichia coli</i> O157:H7    | 58 MHz, 20 kV, 90–120 s                                 | 1.5 log CFU/g                     | [73]      |
|                                           |                | <i>Listeria monocytogenes</i>      |                                                         | 1.0 log CFU/g                     |           |
|                                           | Chicken skin   | <i>Campylobacter jejuni</i> (n =2) | 1 MHz, 2–3 kV, 180 s                                    | About 2.5 log CFU/cm <sup>2</sup> | [57]      |
|                                           | Chicken breast |                                    |                                                         | About 2.5 log CFU/cm <sup>2</sup> |           |
|                                           | Chicken skin   | <i>Escherichia coli</i> K12        | 1.5 MHz, 6.8 kV, 40 Hz, 60 min, 40 °C                   | 1.12 log CFU/ml                   | [58]      |
|                                           |                | <i>Staphylococcus aureus</i>       |                                                         | 0.86 log CFU/ml                   |           |
|                                           |                |                                    |                                                         |                                   |           |

**Figur 1.** Liste over forskellige opnåede inaktiveringer af bakterier ved brug af koldt plasma (fra Albert et al., 2021).

Flere reviews har behandlet emnet om reduktion af bakterier med koldt plasma på kød og kødprodukter. Ovenstående review (Albert et al., 2021) er taget som udgangspunkt for nærmere litteraturstudie af emnet.

De fleste artikler omhandler koldt plasma genereret som i de forsøg, DMRI har deltaget i, ved det der kaldes dielectric barrier discharge (DBD).

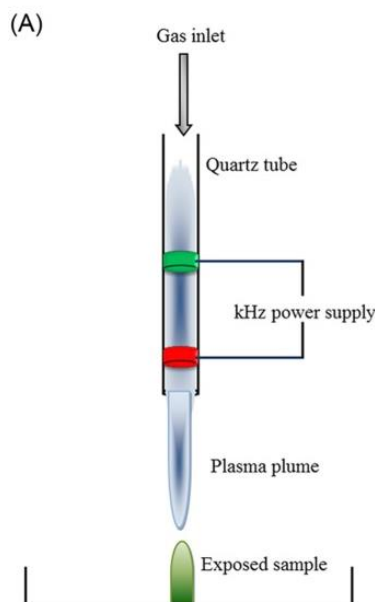
**Figur 2.** Skematisk illustration af DBD-plasma. Elektroderne (gul) kan fx bestå af aluminiumsplader, den keramiske isolator (brun), plastemballage (blå) samt prøver til dekontaminering (rød). (Leipold et al., 2011)

Et DBD-plasma dannes af en vekselstrøm med en høj frekvens fx 25.000 Hz og en høj spænding på fx  $\pm 15.000$  V. Strømmen kan sendes som korte impulser på fx 180  $\mu$ S med en længere pause på fx 14.000  $\mu$ S, uden at der løber strøm, hvorefter impulsen gentages.

Zhuang et al. (2019) undersøgte effekten af plasmabehandling af kyllingebrystfileter uden skind, som var pakket i atmosfærisk luft. De undersøgte reduktionen af psykrofile bakterier samt *Campylobacter jejuni* og *Salmonella Typhimurium*. Den mest effektive behandling var ved 70.000 V og 180 sec. Der angives ingen frekvens for plasmagenereringen. Efter behandlingen blev de indpakkede kyllingefileter lagret i 5 dage ved 4°C. De fandt ca. 1 log reduktion.

tion af bakterierne. Samtidig fandt de også, at kyllingefileterne blev væsentligt mere blege af plasmabehandlingen.

Lee et al. (2016) anvendte en emballage, hvor elektrode og isolator var printet på indersiden af emballagen til at generere plasmaet. De anvendte strålesteriliserede kyllingefileter, som blev podet med *E. coli*, *Listeria monocytogenes* og *Salmonella Typhimurium*. De anvendte en vekselstrøm med en frekvens på 15 kHz, antal volt blev ikke opgivet. De anvendte atmosfærisk luft i pakkerne. De fandt reduktioner på mellem 2,1 og 2,7 log ved 10 min. behandlingstid for de 3 bakterier. Ved kortere behandlingstid på 2,5 min. fandt de mellem 0,5 og 1,3 log reduktion. Ved 10 min. behandling fandt de, at kødet blev lysere, at det blev mindre rødt, og at det var mere grønligt. Smagen i plasmabehandlet kylling blev dårligere, men det skyldtes ikke oxidation og bør undersøges nærmere.



**Figur 3.** Plasma-jet. Denne plasma-jet opererer med 20 kHz og 6 kV. Den anvender en gas af 99,5% He<sub>2</sub> og 0,5% O<sub>2</sub>. Plasma-“flammen” (plume) er nogle få cm lang. Der anvendes 2 l gas pr. min. Området, der kan behandles med plasma-jetten, er ca. 5 x 5 cm.

Stratakos & Grant (2018) afprøvede forskellige metoder til at reducere *E. coli* O157 på stykker af oksekød. De anvendte 5 x 5 cm stykker kød. Kødet var strålesteriliseret (15 kGy) og derefter podet med en cocktail af 4 *E. coli* stammer. Med en plasma-jet kunne de få en reduktion af *E. coli* på 0,9 og 1,82 log CFU/cm<sup>2</sup> ved behandling i en afstand af 15 mm i henholdsvis 2 og 5 min. De undersøgte, foruden plasma-jet, også dekontaminering med bakteriofager, eddike og mælkesyre samt planteekstrakter. De mente, at alle metoderne kunne have en effekt. Der var ingen oplysninger om kødkvaliteten efter behandlingerne.

Jayasena et al. (2015) anvendte ligesom Lee et al. (2016) et pakkesystem, hvor elektrode og isolator blev printet på den indvendige side af plastemballagen. De undersøgte bakterieinaktivering på griseskinke og oksefilet. De

anvendte små (25 x 25 x 7 mm) kødstykker, som inden podning med *E. coli*, *Salmonella Typhimurium* og *Listeria monocytogenes* var blevet strålesteriliseret ved 35 kGy. De anvendte et plasma med en vekselstrøm med en frekvens på 15 kHz.

På skinke ved 10 min. plasmabehandling fandt de 2 log reduktion af *L. monocytogenes* og 2,5 log reduktion af *E. coli* og *Salmonella*. Ved 2,5 min. behandlingstid blev *L. monocytogenes* reduceret med 0,4 log, *E. coli* med 0,5 log og *Salmonella* med 0,3 log CFU/g.

De undersøgte farve efter behandlingen samt sensoriske egenskaber. Ved 10 min. plasmabehandling blev farven af kødet mere bleg og mindre rød end de ubehandlede prøver. De sensoriske analyser viste, at smagen af griseskinken behandlet med koldt plasma i 5 eller 10 min. fik signifikant lavere score end de ikke-behandlede kontrolprøver.

Aboubakr et al. (2020) genererede plasma med en "microhollow" elektrode/isolator fra Kyocera Inc. Systemet var ellers tilsvarende et dielectric barrier discharge plasmasystem, men elektroden/isolatoren bestod af et materiale med mange små huller (600 µm) gennem elektroden, så der kunne lades en luftstrøm gennem elektroden/isolatoren. Den kom derfor også til at minde om en plasma-jet, men diameteren på røret var noget større (45 mm) end for de fleste plasma-jet.

De undersøgte reduktion af *Salmonella Heidelberg* med plasma på ståloverflader, salatblade og kyllingefilet. De anvendte en prøvestørrelse på 1 x 1 x 0,5 cm. De fandt hurtig eliminering af *Salmonella* på ståloverflader, mere end 6,5 log CFU/prøve på 3 min. behandlingstid. På salat fandt de 4,5 log reduktion, og på kylling 3,6 log reduktion efter 10 min. behandling med plasma. På ståloverflader, der var coatede med 10% BSA, fandt de en reduktion af *Salmonella* på ca. 2 log efter 10 min. behandling. Der synes altså at være en sammenhæng mellem proteinindhold i overfladen og effekten af det kolde plasma. Den ringe effekt af koldt plasma på kød og kødprodukter skyldes nok, at alle de reaktive specier i plasmaet reagerer lige så godt med proteinet som med bakterierne og derfor ikke er så effektive på kød, der også for en stor del består af protein.

Choi et al. (2016) anvendte en corona discharge plasma-jet til reduktion af *E. coli* O157:H7 og *Listeria monocytogenes* på fersk og frosset grisekød. De anvendte små stykker af kødet (20 x 15 x 10 mm) og en plasmakilde med en spænding på 20 kV og en frekvens på 58 kHz. De anvendte atmosfærisk luft og havde en emissionsåbning, som var 6 x 35 mm; de anvendte en luft hastighed på 2,5 m/s. Afstanden mellem emissionsåbning og kødprøve var 25 mm. Der blev anvendt plasmabehandling i op til 120 sekunder.

*E. coli* blev reduceret med 1,5 log enhed ved 120 sek. behandling, og *Listeria* med 1 log enhed.

De målte farve på både frosset og fersk grisekød. Plasmabehandlingen gav kød, der var mere lyst og gulligt, muligvis fordi der blev dannet metmyoglobin ved plasmabehandlingen.

De sensoriske karakterer for fersk grisekød blev lavere ved plasmabehandlingen.

Royintarat et al. (2020) undersøgte effekten af plasmaaktiveret vand alene og sammen med ultralydsbehandling til reduktion af *E. coli* og *Staphylococcus aureus* på kyllingekød og skind. De anvendte en plasmakilde til at generere plasmaaktiveret vand (PAV) med 1,5 kHz og 6,8 kV. Ultralydskilden blev angivet til at være 40 Hz (dette må være en fejl, det må være 40 kHz) og 220 W.

De anvendte små stykker kød på max. 4 mm tykkelse. Med PAV-behandling alene opnåede de 0,46 log CFU/ml reduktion af *E. coli* og 0,33 log CFU/ml reduktion af *S. aureus*. Ultralyd og PAV i kombination gav 1,33 log CFU/ml reduktion af *E. coli* og 0,83 log reduktion af *S. aureus* ved en behandling ved 40°C og 60 min. varighed. De oplyste intet om, hvilken reduktion ultralyd alene kunne give. Der var mindre ændringer af farve på kød- og skindprøver ved behandlingen.

Chaplot et al. (2019) anvendte koldt atmosfærisk plasma og pereddikesyre i en form for hurdlekønt til at reducere *Salmonella* på kyllingekød. De anvendte små stykker af kyllingekød på 2 cm<sup>2</sup> og 3 mm tykkelse. Plasma af atmosfærisk luft blev genereret ved 30 kV og 3,5 kHz. De anvendte en afstand mellem elektrode og kødstykke på 2 mm.

Pereddikesyre blev anvendt som 100 og 200 ppm opløsninger i destilleret vand. Der blev anvendt 2 ml spray ved hver behandling.

De afprøvede mange kombinationer af plasma- og eddikesyrebehandling. Den mest effektive behandling var plasmabehandling i 6 min., derefter 60 min. hviletid ved 4°C efterfulgt af 6 min. behandling med 200 ppm pereddikesyre, eller hviletiden kunne undlades uden at forringe behandlingen. De fik op til 5,3 log CFU/cm<sup>2</sup> reduktion ved de nævnte behandlinger. Plasmabehandling i 6 min. alene gav ca. 2 log reduktion, og pereddikesyre alene i 6 min. gav ca. 1 log reduktion. Forsøgene viste altså, at der var en "hurdle" effekt ved at kombinere flere behandlinger.

Behandlingerne medførte, at kødet blev blegere og mindre rødt.

Rossow et al. (2018) anvendte en plasma-jet til at reducere *Campylobacter jejuni* på kyllingskind og filet. De anvendte en cirkulær skind- eller kødprøve på 2 cm<sup>2</sup>, der var 1-2 mm tyk. De anvendte en jet, hvor der enten blev brugt atmosfærisk luft eller argon som drivgas. Der blev anvendt 5 l i minuttet. Den bedste reduktion blev opnået med argon som drivgas og en afstand fra jet til kylling på 8 mm. Ved 120 sekunders behandling blev der opnået op til 2,5 log reduktion af *Campylobacter*. Med atmosfærisk luft som drivgas og med 5 mm

afstand mellem jet og kylling blev der opnået en reduktion på op til 1,5 log ved 180 sek. behandling.

Når plasma-jet blev brugt med argon og 8 mm afstand, som gav den største bakteriereduktion, blev kødet misfarvet. Hvis afstanden blev justeret til 12 mm, kunne der nås 2 log reduktion, uden at kødet blev misfarvet.

Qian et al. (2019) undersøgte effekten af plasmaaktiverede mælkesyreopløsninger overfor *Salmonella Enteritidis*, som var podet på oksekød. De fandt, at en mælkesyreopløsning med 0,2% mælkesyre behandlet med en plasma-jet i 100 sek. var mest effektiv. Plasma-jetten arbejdede ved 19,2 kV, og der blev ikke oplyst nogen frekvens. pH i de plasmabehandlede opløsninger var mellem 2,75 og 2,5. *Salmonella* blev podet på 10 g oksekødsstykker. Kødstykkerne blev neddyppet i de plasmaaktiverede mælkesyreopløsninger i 20 sek., hvorefter der blev talt bakterier ved pladespredning. De fandt en reduktion af *Salmonella* på op til 3,5 log CFU/g ved den mest effektive behandling. Denne behandling var lige så effektiv som behandling med en opløsning med 2% mælkesyre, som ofte anvendes i kødindustrien til at dekontaminere kød.

Cui et al. (2017) afprøvede den kombinerede effekt af citrongræsolie og kold plasmabehandling. De podede prøver af grisefilet med *Listeria monocytogenes* og behandlede dem derefter med citrongræsolie (5 mg/ml) i 30 min. Derefter fik prøverne en plasmabehandling i et plasmaapparat ved 500 W i 120 sek. Citrongræs alene skulle anvendes i så høje koncentrationer for at hæmme *Listeria*, at kødet blev sensorisk uacceptabelt. Plasmabehandling alene gav ca. 1 log reduktion af *Listeria*. Ved en kombineret behandling med så lave koncentrationer af citrongræsolie, at kødet var sensorisk acceptabelt, og derefter behandling med koldt plasma, kunne der opnås 2,8 log reduktion af *Listeria*.

I EU-projektet CAMPYDECON blev der arbejdet med ikke-termiske metoder til at nedbringe bakterietallet på ferske kyllinger (*Campylobacter*). Der blev bl.a. anvendt plasmaaktiveret vand (PAV). Der blev udført forskellige afprøvninger, og der blev fundet ca. 1 log reduktion af bakterierne ved spray med PAV på ferske kyllinger. Det forventes, at der kan opnås større reduktion ved at bruge processen flere steder på kyllingelagtelinjen (Bourke, 2022).

Barrough (2022) har vist tilsvarende resultater på kylling, og at mixning af bakteriekulturer med PAV gav 7 til 8 log reduktion af *Salmonella* og *Campylobacter* efter 15 sek.

Boehm (2022) undersøgte, hvordan PAV virker i forbindelse med den antimikrobielle effekt. PAV har et meget lavt pH, og sammen med indholdet af reaktive oxygen- eller nitrogenforbindelser som  $H_2O_2$ , NO, salpetersyre og  $HNO_4$  giver dette den antimikrobielle effekt. Forskellige PAV-opløsninger har en holdbarhed, der gør dem anvendelige til forskellige formål, til forskel fra plasma på gasform, som hurtigt reagerer med omgivelserne.

PAV er også den eneste type plasma, som har været afprøvet i større skala til dekontaminering.

Der blev udviklet en produktionslinje til skæring, vask og tørring af frisk, grøn salat, hvor PAV blev anvendt til at reducere kimtallet på salaten. Der blev udviklet et mikrobølgeplasmaanlæg med komprimeret atmosfærisk luft, som sammen med almindeligt drikkevand kunne generere store mængder PAV (Schnabel (2022)).

### Diskussion

I de fleste forsøg er der anvendt meget små stykker kød, som er blevet behandlet med plasma. Forsøgene gennemført sammen med DMRI er nogle af de forsøg, hvor der anvendes mest realistiske råvarer.

I nogle af forsøgene blev der anvendt plasma-jet, hvor der ofte bruges argon eller helium som bæregas for at få et "langtrækkende plasma", som har antimikrobiel effekt. Anvendelsen af ædelgasser i store mængder vil være alt for dyr til en kommerciel produktion af kød.

Et dielectric barrier discharge plasma, der anvender atmosfærisk luft, kræver ca. 30.000 V pr. cm afstand, der er mellem elektroderne (Akhtar et al., 2022). Til et stort stykke kød bliver det mange hundrede tusind volt, der skal anvendes (sikkerhedsrisiko).

Plasma-jet er alt for små til storskalaanvendelse (gasforbrug).

Alle plasmabehandlinger øger oxidationen i kød og vil derfor give kvalitetsmæssige ændringer af det ferske kød.

I de artikler, hvor der er mere end ca. 1 log reduktion på fersk kød, giver plasmabehandlingen misfarvning og oxidation af kødet, hvilket nedsætter de sensoriske egenskaber af kødet. Derudover anvender nogle af metoderne lange behandlingstider, der ikke vil passe ind i en kødproduktion.

Anvendelse af plasmaaktiverede saltopløsninger (PAS), plasmaaktiverede syreopløsninger og plasmaaktiveret vand (PAV) kan være en mulighed i industrien. Hvor de øvrige plasmateknikker kun har været anvendt i meget lille skala, har PAV været afprøvet i pilot- og produktionsskala til produktion af plantebaserede, snittede salater.

### Litteratur

Aboubakr, H. A., Nisar, M., Nayak, G., Nagaraja, K. V., Collins, J., Bruggeman, P. J., Goyal, S. M. (2020) Bactericidal efficacy of a two-dimensional array of integrated, coaxial, microhollow, dielectric barrier discharge plasma against *Salmonella enterica* serovar Heidelberg. *Foodborne Pathogens and Disease* 17 (3): 157-165.

Akhtar, J., Abrha, M. G., Teklehaimanot, K., Gebrekirstos, G. (2022) Cold plasma technology: fundamentals and effect on quality of meat and its products. *Food and Agricultural Immunology*, 33(1): 451-478.

Albert, T., Braun, P., Saffaf, J., Wiacek, C. (2021). Physical methods for the decontamination of meat surfaces. *Current Clinical Microbiology Reports* 8:9-20.

Barroug, S. (2022) Integrating cold plasma functionalised liquids to control microbiological risks in poultry processing. <https://iafp.confex.com/iafp/euro22/onlineprogram.cgi/Paper/27687>

Boehm, D. (2022) Mechanistic insight to cold plasma functionalised liquids: Antimicrobial efficacy and interactions with processing and storage conditions. <https://iafp.confex.com/iafp/euro22/onlineprogram.cgi/Paper/27684>

Bourke, P. (2022) Food Micro 2022, [Y:\Projects\VP2007715\\_DNAPROKON\food micro 2022\rejserapportFoodMicro22.docx](Y:\Projects\VP2007715_DNAPROKON\food micro 2022\rejserapportFoodMicro22.docx) side 16).

Chaplot, S., Yadav, B., Jeon, B., Roopesh, M. S. (2019) Atmospheric cold plasma and peracetic acid-based hurdle intervention to reduce salmonella on raw poultry meat. *Journal of Food Protection*. 82 (5): 878-888.

Choi, S., Puligundla, P., Mok, C. (2016) Corona discharge plasma jet for inactivation of *Escherichia Coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in inoculated pork and its impact on meat quality attributes. *Ann Microbiol* 66:685-694.

Cui, H., Wu, J., Li, C., Lin, I. (2017) Promoting anti-listeria activity of lemongrass oil on pork loin by cold nitrogen plasma assist. *J Food Saf.* 37:e12316.

Jayasena, D., Kim, H., Yong, H., Park, S., Kim, K., Choe, W., Cheorun J. (2015) Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loins: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. *Food Microbiology* 45:51-57.

Koch, A. G., Bejerholm, A. C., Tørngren, M. A. (2016) A novel packaging system for meat safety and shelf-life extension. Deliverable 5.2 Report on the pilot plant trials with NTP treated meat including pathogen reduction, shelf life analysis, sensory profiling, nutritional evaluation and food safety aspects. MEATPACK Grant Agreement No: 605125. [Anette\MP\\_D2.2\\_final.pdf](Anette\MP_D2.2_final.pdf)

Lee, H., Yong, H. I., Kim, H-J., Choe, W., Yoo, S. J., Jang, E. J., Jo, C. (2016) Evaluation of microbiological safety, quality changes, and genotoxicity of chicken breast treated with flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma. *Food. Sci. Biotechnol.* 25(4): 1189-1195.

Leipold, F., Kusano, Y., Hansen, F., Jacobsen, T. (2010) Decontamination of a rotating cutting tool during operation by means of atmospheric pressure plasmas. *Food Control* 21: 1194-1198.

Leipold, F., Schulz-Jensen, N., Kusano, Y., Bindslev, H., Jacobsen, T., (2011) Decontamination of objects in a sealed container by means of atmospheric pressure plasmas. *Food Control* 22:1296-1301.

Qian, J., Zhuang, H., Nasiru, M. M., Muhammad U. (2019) Action of plasma-activated lactic acid on the inactivation of inoculated *Salmonella* Enteritidis and quality of beef. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 57: 102196.

Rossow, M., Ludewig, M., Braun, P.G. (2018) Effect of cold atmospheric pressure plasma treatment on inactivation of *Campylobacter jejuni* on chicken skin and breast filet. *LWT Food Science and Technology* 91: 265-270.

Royintarat, T., Choi, E. H., Boonyawan, D., Seesuriyachan, P., Wattanutchariya, w. 2020. Chemical-free and synergistic interaction of ultrasound combined with plasma-activated water (PAW) to enhance microbial inactivation in chicken meat and skin. *Scientific reports* 10: 1559

Rød, S. K., Hansen, F., Leipold, F., Knøchel, S. (2012) Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology* 30: 233-238.

Schnabel, U. (2022) Scaling efficacy of cold plasma functionalised liquids from bench to pilot to industry for fresh produce. <https://iafp.confex.com/iafp/euro22/onlineprogram.cgi/Paper/27685>

Stratakos, A. C., Grant, I. R., (2018) Evaluation of the efficacy of multiple physical, biological and natural antimicrobial interventions for control of pathogenic *Escherichia coli* on beef. *Food Microbiology* 76: 209-218.

Zhuang, H., Rothrock Jr., M. J., Hiett, K. L., Lawrence, K. C., Gamble, G. R., Bowker, B. C., Keener, K. M. (2019) In-package air cold plasma treatment of chicken breast meat: treatment time effect. *Journal of Food Quality*, Article ID: 1837351