



Rapport Optimeret produktion af forædlede kødprodukter

13.01.2017
Projekt nr.
2003681-14

Fremtidige varmebehandlingsprocesser og innovationsrapport

Christian Vestergaard, Henning Sejer Jakobsen og Lise Nersting

Introduktion

Formålet er at undersøge om der er nye varmebehandlingsprocesser, der med fordel kan anvendes til kødprodukter fremfor traditionel varmebehandling. Derudover er der udført en innovationsproces på 2 virksomheder mhp. at undersøge, om der findes helt andre innovations- og optimeringsmuligheder. Rapporten består af 2 delrapporter. Delrapport 1 er en state of the art over nye varmebehandlingsprocesser og del 2 er et resume over innovationsforløbene på de to virksomheder.



Indhold

Fremtidige varmebehandlingsprocesser State of the art

Formål	4
Baggrund.....	4
Indledning.....	5
Traditionel opvarmning.....	6
Volumetriske metoder generelt.....	7
Radiobølger (RF).....	7
Mikrobølger (MW).....	14
Ohmisk opvarmning (OH).....	21

Innovationsrapport

Baggrund.....	28
Referat fra workshop – Fase 3	29
Generelle betragtninger	29
Hamburgerryg	29
Pølser	30
Bilag 1	31
CIS-model.....	31

Fremtidige varmebehandlingsprocesser State of the art

Formål Formålet er at undersøge om der er nye varmebehandlingsprocesser der med fordel kan anvendes til kødprodukter fremfor traditionel varmebehandling.

Konklusion Der er tre nye opvarmningsprocesser hhv. radiobølger, mikrobølger og ohmsk opvarmning der har potentiale i forhold til varmebehandling af kødprodukter. Alle tre opvarmningsmetoder har dog stadig udfordringer og kan ikke umiddelbart implementeres i industrien.

Radiobølger (RF) er velegnet til homogene kødprodukter med en symmetrisk dimension. Aktuelt findes der en enkelt producent af udstyr til emulgerede produkter der er kommercialiseret. Teknologien er endnu ikke udviklet til brug på helmuskelprodukter, og om end det forekommer, at dette potentielt vil kunne lykkes, så forestår der et stort udviklingsarbejde, inden det vil være muligt. Det vurderes det, at RF-teknologi vil give væsentlige energibesparelser ved pasteurisering af kød, men at investeringen i udstyr gør teknologien urentabel for nuværende.

MW-teknologien er i og for sig veludviklet, men den aktuelle kommercielle udnyttelse i relation til kødprodukter begrænser sig hovedsageligt til pasteurisering af portionerede færdigretter samt baconstegning. Årsagen er, som for RF, krav til produktgeometri og homogenitet. Resultater vedr. produktkvaliteten er varierende, men det overordnede billede er, at teknologien medfører øget svind og mindre smagsudvikling. En væsentlig problemstilling ved MW er, at de bedste resultater opnås ved brug af frekvensen 915 MHz, og denne er ikke muligt at bruge i Europa. MW-anlæg til pasteurisering af kød er ikke en standardvare, men skal (som for RF-anlæg) designes af leverandøren i hvert enkelt tilfælde, hvorfor der ikke er fuldstændig klarhed over økonomien ved MW-behandling. Igen vurderes det på baggrund af de informationer, der har været tilgængelige, at der kan

spares væsentlige mængder energi, men at investeringsomkostningerne gør teknologien mindre attraktiv

Ohmisk opvarmning vurderes at have potentiale til volumetrisk pasteurisering og sterilisering af højviskøse kødprodukter af såvel fars- som helmuskeltypen, både teknologisk og økonomisk. Teknologien er meget veludviklet til alle former for flydende medier, herunder viskøse, og finder stor udbredelse i mejerisektoren og frugt-/juicebehandling. Aktuelt er der dog kun udviklet et enkelt udstyr til brug ved ikke-emulgerede farsvarer. I sammenligning med konventionelle opvarmningsmetoder med vand og damp vurderes OH at kunne levere kødprodukter af samme eller bedre kvalitet, samtidig med meget betragtelige tids- og energimæssige besparelser. En industrialisering af OH til kødprodukter, især til brug ved helmuskelprodukter, kræver dog fortsat en stor F&U-indsats. I denne sammenhæng bemærkes, at den største udstyrsleverandør og SSICA i Italien aktuelt samarbejder om udvikling af en prototype til Mortadella-produktion. På baggrund af de foreliggende informationer vurderes det, at OH-behandling har potentiale til at blive økonomisk rentabel, men udstyret er kun i meget begrænset omfang tilgængeligt for kødindustrien for nuværende.

Indledning

Formålet med denne state of the art er at undersøge om der er nye lovende varmebehandlingsprocesser til kødprodukter på markedet eller tæt på lancering. I vurderingerne er indgået om processerne er energieffektive og tidsbesparende samt om de påvirker produktkvaliteten. Den nyeste litteratur er gennemgået, udstyrsleverandører har været kontaktet, og den interne (DMRI) viden på området er indsamlet og integreret, herunder specielt fra DMRI projektet "Accelererede processer", der løb fra 2009-2013.

I arbejdet med denne redegørelse blev det hurtigt klart, at der de facto kun er tre metoder til opvarmning baseret på ny teknologi, der på nuværende tidspunkt er udviklet til mere end blot laboratorieskalaniveau.

Alle tre teknologier anvender volumetriske opvarmning, der er kendetegnet ved, at energien afsættes direkte i mediet, i modsætning til normal konvektionsopvarmning hvor varmen ledes fra yderst til inderst. Dette giver i udgangspunktet en kort procestid og en høj energieffektivitet.

De tre processer er

- Radiobølger (RF)
- Mikrobølger (MW)
- Ohmisk modstand (OH)

Principielt kunne også højtryksbehandling (HPP) have været inkluderet. Denne teknologi er faktisk på et udviklingsstadium, der, i visse sammenhænge, overgår især RF- og OH-behandling. I forhold til kødprodukter anvendes højtryksbehandling primært til en kold efterpasteurisering af slicede kødprodukter mhp. at sikre listeriafrie produkter. Det er dog muligt at kombinere varme og højtryk og dermed få en hurtig varmebehandling. Det vurderes dog at metoden er for dyr til at det vil være rentabelt. Højtryksbehandling er derfor ikke medtaget i rapporten

Traditionel opvarmning

Varmebehandling i forbindelse med fødevarerforarbejdning sker traditionelt ved en opvarmning til den temperatur, hvor proteiner denatureres, fødevaren skifter konsistens, og den mikrobielle flora reduceres markant. I brede termer er der således tale om opvarmning fra køl til pasteuriseringstemperatur (4°C til ca. 70°C). Den øvre grænse er flydende, da både mikrobiel inaktivering og proteindenaturering (mørhed, konsistens og farveomdannelse) kan opnås ved lavere temperaturer, hvis blot tiden er tilstrækkelig lang.

Omvendt er det også klart, at det i resurse sammenhæng vil være væsentligt at udnytte produktionsapparatet optimalt, hvorfor hastighed er en væsentlig faktor.

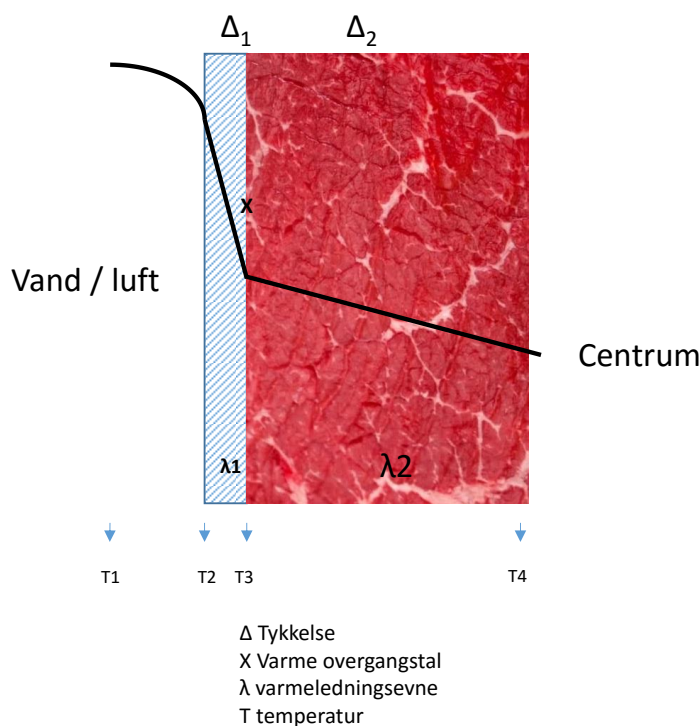
Når det er interessant at fokusere på "nye teknologier" til varmebehandling, er det, fordi traditionelle kogeprocesser er relativt energiineffektive.

Typisk vil man først opvarme store mængde kogevand eller damp. Dertil anvendes olie, gas eller el, der i sig selv fremstilles med et vist tab af energi. Kogevandet/dampen vil tabe varme til omgivelser og udstyr, og efter det har overført den ønskede mængde varme til produktet, vil produktet blive kølet i eller med vand. Både det brugte kogevand og det opvarmede kølevand vil typisk ende i kloakken, og når den sidste mængde varmeenergi trækkes ud af produktet i kølerummet, anvendes der igen energi.

Den logiske slutning omkring opvarmningsdelen er derfor, at det ville være optimalt, hvis det var muligt at opvarme produkterne hurtigt og uden brug af store mængder kogevand/damp. Såfremt både konvektionsopvarmning og nedkøling er involveret, kan der teoretisk være et energibesparelsespotential i at lade spildvarmen drive en varmepumpe, således at der genereres kulde til køling.

Traditionel opvarmning (konvektion) baserer sig på, at varme fra vand eller luft, der omgiver emnet, overføres hertil via dets overflade. Hastigheden afhænger af flere ting. I nedenstående model er det antaget, at temperaturen ikke ændrer sig i det omgivne medium (steady-state), og at der er tale om konvektionsvarme.

På et givent kødstykke under opvarmning vil der være et lille lag af stillestående vand eller luft tæt inde ved produktet, der virker isolerende. Lagets tykkelse afhænger bl.a. af den cirkulation, der er i mediet. Man beskriver denne modstand med varmeovergangstallet. Når først varmen er kommet ind i kødet, vil hastigheden, hvormed den rejser heri, være bestemt af varmeledningsevnen. Endelig bør man bemærke, at hastigheden også afhænger af temperaturforskellen mellem kødets centrumstemperatur og det omgivne medium.



Varmetransmissionens størrelse afhænger af det aktuelle areal, hvor de forskellige medier/matricer har kontakt, temperaturforskellen samt varmetransmissionskoefficienten. Denne koefficient bestemmes yderligere ud fra indvendigt varmeovergangstal (x_1), tykkelse ($\Delta_{1,2}$) og varmekonduktivitet ($\lambda_{1,2}$) af mellemværende materialer.

Det, der således er væsentligt at bemærke, er, at ved konventionel varmeoverførsel er der en geometrisk faktor (størrelse) og flere materialefaktorer, der sætter grænsen for, hvor hurtigt varmeoverførsel kan opnås.

Volumetriske metoder generelt

De nyere, termiske metoder kaldes volumetriske, idet de opvarmer produkterne overalt på samme tid. Her er der tale om teknikker baseret på, at elektromagnetisk energi i form af varme afsættes direkte i produkterne, således at der ikke er nogen varmegradiant. Metoderne er typisk væsentligt hurtigere og mere energieffektive end de konventionelle metoder. Desuden er de i mindre grad afhængige af varmfylde og varmeledningsevne.

Radiobølger (RF)

RF-teknologierne opererer i radiofrekvensområdet (300 kHz-300 MHz, svarende til bølgelængder fra 1 km-1 m). P.t. er der i Europa tilladelse til at anvende frekvenserne 13,56 MHz, 27,12 MHz og 40,58 MHz, hvilket modsvarer bølgelængder på hhv. 22,1 m, 11,1 m og 7,4 m. Den frekvens, der typisk anvendes, er 27,12 MHz.

Opvarmningsprincip

Opvarmningen sker som følge af den energi, der afsættes i produktet, når ioner og polariserede molekyler bringes i bevægelse og kolliderer under påvirkning af det elektromagnetiske felt. Opvarmningshastigheden og -effektiviteten afhænger primært af produkternes dielektriske egenskaber (dielektriske konstant ϵ' , dielektriske tabsfaktor ϵ''), der er afgørende for designet af RF-processen.

Behandlingsdesign

Det er væsentligt, at produktet, der skal behandles, har en ensartet geometri. Hvis noget "stikker ud", vil dette fungere som "antenne" og blive overkogt.

Der er i hovedsagen to væsentlige tekniske udfordringer ved RF-opvarmning.

"Thermal run away heating" eller "hot-spots" kan opstå i inhomogene fødevarer ved RF-behandling og skyldes, at den dielektriske tabsfaktor ofte udviser en stærk positiv korrelation til temperatur, dvs. jo varmere et område er, jo hurtigere opvarmes det. Det betyder, at hot-spots let opstår under RF-opvarmning, og dette må adresseres i det tekniske design, således at over- og underkogte områder undgås. Problemet er særlig markant ved høje temperaturer, hvorfor der evt. må inkluderes tid til temperaturudligning, eller RF må erstattes af konventionel opvarmning, når ca. 60°C er nået med RF. *"Thermal run away heating"* er ikke et problem ved temperering (optøning), hvorfor RF primært har fundet anvendelse her.

"Arching" (gnistdannelse) kan opstå, hvis den elektriske feltstyrke på tværs af prøven er for høj, og vil typisk opstå i luftlaget mellem kødet og elektroderne. "Arching" kan forårsage arbejdsmiljømæssige sikkerhedsproblemer. Begge problemer kan imidlertid teoretisk set imødegås ved omhyggelig udformning af behandlingsgeometrien.

Ved farsvarer er det mindre problematisk at lade produktet passere i et rør med ensartet dimension, hvori der er placeret RF-elektroder.

For helkødsprodukter vil det derimod være nødvendigt at ensrette geometrien ved evt. at lade produktet behandle i et rør med en smule omgivende væske. På denne måde undgås gnistdannelse mellem elektrode og produkt, samt at produktet afgiver energi til omgivelserne under opvarmningen. Det bemærkes, at den afsatte energi afhænger af saltkoncentrationen. Derfor må produkter være saltudlignede og/eller i balance med en evt. omgivende brine, da varmfordelingen ellers ikke vil være ensartet.

Emballering Hvis produkterne skal behandles i emballagen, må emballeringsmaterialerne være gennemtrængelige for elektromagnetiske bølger. Metalemballage er således udelukket, mens plast er oplagt. Dog må huskes udfordringen med symmetrisk/ensartet geometri på produktet.

Anvendelsen af RF kan dog også tænkes som en traditionel kogeenhed til produkter, der efterfølgende portioneres eller slices.

Temperaturfordeling Energiafsætningen afhænger af produktets geometri og dets dielektriske egenskaber, der igen er tæt forbundne med produktets sammensætning. Minimering af temperaturforskelle og eliminering af såkaldte "hotspots" er en af udfordringerne i design og anvendelse af RF til varmebehandling. Se desuden ovennævnte problemstilling vedr. "Thermal run away heating".

Tidsforbrug Opvarmningsforløbet ved RF-opvarmning er i princippet lineært. Tidsforbruget til opnåelse af samme T_{centum} kan, afhængigt af dimensioner og dielektriske forhold,

reduceres til mellem 1/3 og 1/5 af forbruget ved konventionel opvarmning jf. nedenstående tabel (James Lyng, 2007).

Summary of Cooking times (CT)
(in this project CT = time to heat the coldest spot to $\geq 73^{\circ}\text{C}$, followed by 2 min. holding time)

Note: RF oven used set at $\approx 0.5\text{ kW}$. Larger sizes available.

	Diameter (mm)	RF CT (min)	Steam CT (min)
0.05 kg Frankfurters	20	4.5 (+2) ¹	22
0.2 kg White pudding	40	7.5 (+2) ¹	33
1 kg Pork Luncheon Roll	96	30 (+2) ¹	115
1 kg Shoulder Ham (25% inj.)	96	40 (+2) ¹	127
1 kg Leg Ham (15% inj.)	96	40 (+2) ¹	132
1 kg Turkey Roll (+ Salt)	96	40 (+2)	150
1 kg Beef Roll (- Ingr.)	96	33 (+2)	150
1 kg Beef Roll (+ Ingr.)	96	44 (+2)	150

Steam
[Note: Steam cooker under capacity]

- Diameter vs. Mass
- Composition vs. thermal

RF

- Mass
- Composition vs. dielectric
- Composition vs. thermal

^{1,2}: 2 min. holding time in circulating water at 80°C (no RF)

Udbytte

Forsøg med RF-pasteurisering af kødprodukter på UCD i Irland har vist, at der kunne opnås udbytteforbedringer i størrelseordenen 2-6%. Laycook et al. (2003) opnåede ca. 10% bedre udbytte for en oksekødsfars. Tang et al. (2006) eksperimenterede med injicerede oksemuskler (BF) og fandt, at RF-kogning gav en udbytteforbedring på 3-6%. Der findes i litteraturen ikke yderligere information herom.

Mikrobiologi/F-værdi

Pasteuriseringseffekten efter opnåelse af samme centrumstemperatur er med RF lidt mindre end med konventionel opvarmning (Lyng et al., 2007). Alligevel kunne sterilisering af en færdigret opnås på 30 min. med RF (inklusive holdetid) mod 90 min. med konventionel auto-klavering (Wang et al., 2003).

Kvalitet

Kvalitative ændringer under varmebehandling udtrykkes ofte ved begrebet "cook value", C_{100} , der udtrykker de kvalitative forandringer i produkternes tekstur og farve under varmebehandling (Wang et al., 2003). C_{100} udtrykker det relative kvalitetstab ved en given varmebehandling målt i forhold til en tilsvarende varmebehandling udført ved 100°C . C_{100} ved RF-pasteurisering var kun 1/3-1/4 af C_{100} ved konventionel pasteurisering (Lyng et al., 2007). Ved RF-sterilisering blev der registreret en halvering af C_{100} (Wang et al., 2003). Litteraturen beretter desuden om mindre WOF i oxidationsfølsomme produkter, når de er RF-behandlet, men data er ikke omregnet til en cook value.

Laycook et al. (2003) har undersøgt effekten af RF-opvarmning på kvaliteten og opvarmningshastighed af forskelligt oksekød; a) hakket, b) saltet og findelt (simulering af fars) og c) hele muskler opvarmet til 72°C centrumtemperatur ved brug af en RF-kilde ved 27,1 MHz. RF-opvarmning resulterede i en væsentlig reduceret tilberedningstid og et højere udbytte sammenlignet med tilberedning i vandbad. Hakket oksekød fik en markant mere sej og elastisk struktur, mens effekten på helmuskler var meget lille, muligvis fordi den hurtige RF-kogning tillod for kort tid til termisk nedbrydning af kollagen. Den simulerede farsblanding gav det bedste sensoriske resultat.

Virkningsgrad I 2010 vurderede DMRI (teoretisk), at et RF-anlæg ville have en virkningsgrad på 75% samlet for hele kogeprocessen. Dette modsvarede en energibesparelse på 35%. Til sammenligning er virkningsgraden 40-50% ved konventionel opvarmning med damp eller varmt vand.

Procesøkonomi En analyse udført af DMRI i 2004 viste, at den væsentligste besparelse ved erstatning af konventionel pasteurisering med RF-pasteurisering lå i reduceret arbejdskraft (80%) og energiforbrug. Besparelserne indhentes imidlertid af forrentning og afskrivning på RF-udstyr. Samlet set kunne der ikke identificeres en reduktion af omkostningen pr. produceret kg. Derimod spekuleres der i forbedrede udbytter ved RF-behandling (se ovenfor). Ved optimering af vandforbrug i et evt. behandlingskammer kan der opnås yderligere besparelser på RF-behandlingen. Kapacitetsudnyttelsen på RF-anlægget var beregnet ud fra 2,4 timer/dag mod 12 timer/dag på det konventionelle system.

Investering RF Food Systems, der angiveligt er eneste producent af RF-udstyr til RF-pasteurisering af kød, har inden for de seneste år kommercialiseret et udstyr til kontinuert kogning af emulsionsfars. Prisen for dette udstyr ligger på omtrent 3,4-4,2 mio. DKK for kapaciteter på maks. hhv. 800 og 1600 kg/h. Udstyret tager fars direkte ind i den ene ende og leverer kødpølse klar til køling og slicing i den anden. På denne måde spares arbejdet omkring fyldning, forbrug af tarme, peeling osv.

RF Food Systems oplyser (2016), at et 100 kW RF-pasteuriseringsanlæg med en kapacitet på 1600 kg/h koster omkring 4,1 mio. DKK.

I 2010 beregnede DMRI, at et RF-anlæg ville have en tilbagebetalingstid på ca. 10 år, afhængig af produkt og produktionsset-up. Det vurderes, at der er tre forudsætninger, der i dag ville ændre på dette regnestykke.

Dels må det forventes, at RF-anlæggene er blevet billigere siden da, og som nævnt er det fundet, at RF-kogning medfører 2-6% mindre svind i processen. Desuden har DMRI tidligere lavet teoretiske beregninger, der muliggør væsentlig bedre ROI ved at koble processen med efterfølgende automatiseret videreførelse, noget der kan være vanskeligt ved konventionel produktion. Dette til trods vurderes det, at RF-kogning overordnet set stadig er et godt stykke fra at være rentabel med den gængse tommelfingerregel om tilbagebetalingstider på ca. 3-5 år for procesudstyr.

*Kommerci-
seringsgrad*

RF-teknologien er veletableret inden for en række tekniske, industrielle processer, som oftest processer hvor der smeltes eller tørres.

I relation til levnedsmiddelteknologi er der adskillige udbydere af kommercielt udstyr til brug ved optøning af kød samt bage- og tørreprocesser, både som batchanlæg og som kontinuerlige linjer.

Der er de seneste årtier blevet udtaget en række patenter på processer til pasteurisering af kød, der grundlæggende alle baserer sig på en forvarmning (konventionel varme) af en fars typisk til ca. 37°C efterfulgt af en opvarmning ved RF-behandling op til 60 sekunder, hvorved der opnås en pølse, der er færdigkoaguleret.

[RF Food Systems](#) i Holland har kommercialiseret en maskine, der kontinuerligt fremstiller kogte pålægspølser (Ø=75 mm). Der markedsføres 2 størrelser med kapaciteter på hhv. 100-800 kg/h og 100-1.600 kg/h (Wink, 2016).

Det har ikke været muligt at finde andre, der tilbyder en tilsvarende teknologi til kødforarbejdning. Der er en række

referencer på kødproduktproducenter oplyst på producentens hjemmeside, så teknologien ser ud til at være i funktion i industrien – om end i mindre skala.

Stalam (v. Enrico Zanetti), der er blandt de største producenter af RF-udstyr til optøning, oplyser (uden uderligere forklaring), at man ikke mener, at RF-teknologien er anvendelig til pasturisering af kød.

Resumé

Der er allerede mindst én producent af RF-udstyr til pasturisering af farsvarer på markedet. Det har derimod ikke været muligt at finde beskrivelser af RF-behandling af helkødsprodukter. De seneste års forskning og udvikling viser, at RF-teknologien rummer potentiale til såvel accelerering som besparelser på energi og arbejdskraft, men dette kræver fokus på udvikling og optimering af procesdesign og produkter. Tidligere analyser har vist, at RF-behandling er for dyr i anlægsinvestering, til at teknologien vil kunne konkurrere med en traditionel proces. Det vurderes, at cost-benefit er forbedret i forhold til tidligere, men at teknologien stadig er markant dyrere end konventionel varmebehandling.

Emballagevalget er begrænset til elektromagnetisk gennemtrængelige typer. Produkter i metalemballage (primært helkonserves) er således udelukket til RF-behandling.

Aktivitetcentre (EU)

- UCD; Dublin; Prof. James Lyng (*udstyr til afprøvninger og undersøgelser + høj kompetence*)
- Fraunhofer Institute IVV (*procesudvikling – besidder udstyr*)
- [Sairem](#); [Strayfield](#); [C-tech Innovation](#); [RF Foodsystems](#); [Stalam](#) (*producenter af udstyr i industriel og forsøgsskala*)

Kilder

Brunton et al. (2005). "Effect of radio frequency heating on the texture, colour and sensory properties of a comminuted pork meat product"; *Food Res. Int.*, 38, 337-344.

Jensen J. S. (2010). Volumetrisk varmebehandling med radiofrekvens (RF), mikrobølger (MW) og ohmisk opvarmning (OH) – State of the art. DMRI Projekt 1378406-02.

Laycook, L., Piyasena, P., & Mittal, G. S. (2003). Radio frequency cooking of ground, comminuted and muscle meat products. *Meat Science*, 65, 959-965.

Luechapattanaporn et al. (2004). "Microbial safety in radio frequency processing of packaged foods"; *J. Food Science*; 69 (7), M201-206.

Lyng, J. G. (2004). "Economic evaluation of conventional vs. RF heating methods for the production of cooked meats"; August 31; Dept. of Food Science, UCD, Dublin; Ireland.

Lyng et al. (2007). "An examination of factors affecting radio frequency heating of an encased meat emulsion"; *Meat Science*; 75, 470-79.

McKenna et al. (2006). "Advances in radio frequency and ohmic heating of meats"; *J. Food Eng.*; 77, 215-229.

Tang, X., Lyng, J., Cronin, D., Durand C. (2006). Radio frequency heating of beef rolls from *biceps femoris* muscle; *Meat Science*, 72, pp. 467-474.

Wang et al. (2003). "Sterilization of foodstuffs using RF heating". *J. of Food Science*, 68 (2); 539-44, 959-65.

Wink (2016). Personlig kommunikation Dick Wink, CEO RF Food Systems 12/7.

Würtz, J. (2010). Økonomivurderinger af volumetriske opvarmningsprocesser. Notat af 30/9, DMRI Projekt 1378406-02

Mikrobølger (MW)

Elektromagnetisk stråling i bølglængdeområdet 300 MHz-30 GHz betegnes som mikrobølger. Kun et mindre antal frekvenser er imidlertid til rådighed for industriel udnyttelse. Husholdningsovne anvender sædvanligvis 2450 MHz. De industrielle anlæg anvender typisk 2450 MHz og i stigende grad 915 MHz.

Ved 915 MHz er indtrængningsdybden ca. 35 cm, mens den ved 2450 MHz er ca. 12 cm. Dette har betydning for, hvilke emner der kan opvarmes effektivt.

Inden for fødevarerproduktion anvendes MW til bagning, tørring, temperering, optøning, blanchering, stegning (bacon), pasteurisering (færdigretter, brød) og sterilisering.

Der er forskellige regler for brug af de to frekvenser i forskellige lande. I Danmark er det ikke tilladt at anvende 915 MHz ifølge Energistyrelsen. Uagtet dette forlyder det, at udstyr med 915-frekvensen sælges i Europa.

Opvarmningsprincip

Opvarmningsprincippet minder en del om RF og sker som følge af den energi, der afsættes, når polariserede molekyler (dipoler) i produktet bringes i bevægelse under påvirkning af det elektromagnetiske felt. Friktionen bliver til varme og får derved temperaturen til at stige i produktet. Som for RF afhænger hastigheden og effektiviteten primært af produkternes dielektriske egenskaber (dielektricitetskonstanten ϵ' og den dielektriske tabsfaktor ϵ''). Indtrængningsdybden begrænses af den dielektriske tabsfaktor (jo større tabsfaktor, desto ringere indtrængningsdybde) samt den korte bølglængde og er derfor generelt ringere end for RF. Dielektrisk tabsfaktor og produktdimension er derfor vigtige elementer i design og tilrettelæggelse af MW-behandling og kan i mange tilfælde begrænse MW som egnet opvarmningsteknik.

Behandlingsdesign

På linje med RF-behandling kræves der ikke direkte kontakt mellem elektroder (magnetron) og produkt ved MW-opvarmning.

Opvarmningseffektiviteten afhænger af flere forskellige forhold, herunder behandlingskammerets indretning og geometri, produktets placering i kammeret, drejeskive og 'mode stirrers' – en slags elektromagnetisk 'ventilator', der bidrager til et mere ensartet felt i kammeret. Derudover

har produkternes form, størrelse og sammensætning (fedt har eksempelvis anderledes egenskaber end muskelvæv bl.a. som følge af forskelle i vandindhold) stor betydning for behandlingens udformning og tilrettelæggelse.

MW kan også anvendes til steriliseringsprocesser, og ikke mindst i USA har der været allokert store ressourcer til denne udvikling. Drivkraften har været fremstilling og konservering af "military rations". Men først i de senere år har processen opnået godkendelse fra FDA/USDA (Tang, 2009).

Emballering MW-behandling kan, som RF-behandling, gennemføres på emballerede produkter, såfremt emballagen er gennemtrængelig for elektromagnetisk stråling, og der tages højde for udligning af tryk opbygget i emballagen. Produkter i blik- eller aluminiumsemballage er derimod uegnede.

Temperaturfordeling Ensartet temperaturfordeling er en udfordring ved anvendelse af MW og volumetriske opvarmningsteknologier i det hele taget.

Inhomogen sammensætning og vandfordeling kan føre til uensartet temperaturfordeling. MW-behandling udføres derfor ofte som en vekselvirkning mellem feltpåvirkning og pauser med temperaturudligning. Inden for de seneste 10-15 år er der udviklet avancerede 'værktøjer' til modellering, ligesom der findes løsninger til registrering og validering af temperaturfordeling under MW-behandlingen. Leverandører af industrielt udstyr peger på, at man generelt får bedre varmefordeling i produktet ved brug af mikrobølger sammenlignet med brug af RF.

Som nævnt definerer den anvendte frekvens (915 MHz vs. 2450 MHz) indtrængningsdybden og dermed også, hvilke emner der kan gennemvarmes.

Om end af markant mindre omfang end ved RF-opvarmning, så eksisterer fænomenet "Thermal run away heating" også for MW og er mere udtalt ved 915 MHz sammenlignet med 2450 MHz. Fænomenet er meget svagt indtil 67°C (oksekød), hvorefter det tager fart (Brunton, 2006).

Tidsforbrug Opvarmningsforløbet ved volumetrisk opvarmning er i princippet lineært som ved de andre volumetriske teknologier. Derfor går opvarmningen og varmebehandlingen også hurtigere end ved konventionel opvarmning, der følger et sinusformet forløb. Se i øvrigt teksten om 'Tidsforbrug' ovenfor under RF-behandling.

Udbytte Der er relativt få referencer, der direkte sammenligner udbytter af varmebehandlet kød ved MW og konventionel varmebehandling af levnedsmidler. Et generelt problem med litteraturen omkring MW er, at det er varierende, hvilke frekvenser (915 MHz vs. 2450 MHz) der er anvendt. Liu & Lanier (2016) beskriver, at mens hurtig opvarmning af emulsionspølser med MW bevirker reduceret udbytte, er det muligt at undgå udbyttetab, hvis der inkluderes en pause på 30 min, hvor produktet holdes ved 50°C. Pórtorak et al. (2015) undersøgte MW-opvarmning af oksekød (helmuskel) og fandt, at mens højintens MW-behandling gav reduceret udbytte, så gav lavintens MW kombineret med konventionel konvektionsvarmebehandling reduceret svind.

Yarmand og Homayouni (2011) har sammenfattet de fleste tilgængelige studier op til 2011 og skriver, at MW kogt kød generelt har større kogesvind og har mindre smag sammenlignet med konventionel varmebehandling. I tillæg må de efterbruges, hvis dette er ønsket. Det bemærkes dog også, at der er store variationer desangående som følge af forskelle mellem udskæringer og kødtyper (kylling, okse, svin etc.).

Omvendt vil kortere varmebehandlingstid, teoretisk set, ofte resultere i mindre svind og dermed øget udbytte. Der berettes om væsentlige udbytteforbedringer ved anvendelse af MW til tørring.

Mikrobiologi Den konserverende virkning af MW-behandling er udelukkende af termisk karakter. Den elektromagnetiske stråling genereret ved MW-behandling har ikke i sig selv nogen virkning på mikroorganismer. Drabseffekten ved MW-pasteurisering og -sterilisering kan med andre ord fastlægges efter samme principper som ved konventionel varmebehandling. Den reducerede stigetid ved MW-opvarmning må derfor ofte kombineres med en holdetid for at sikre den nødvendige pasteuriserings- eller steriliseringseffekt (F-værdi).

<i>Kvalitet/sensorik</i>	Der er ikke fundet MW-publikationer, der omtaler cook value (se ovenfor under RF-behandling); men hvis MW-behandlingen er kortere end konventionel opvarmning, må man forvente en lavere C_{100} , dvs. et mindre kvalitetstab end ved en konventionel varmebehandling ved 100°C.
<i>Virkningsgrad</i>	Moderne MW-magnetroners virkningsgrad ligger typisk på 75-80%. Ved brug af 915 MHz kan der tilføres op til 100 kW per magnetron, hvilket er 3 gange effekten ved 2450 MHz. 915 MHz frekvensen har desuden en energieffektivitet (afsat energi vs. strømforbrug) på min 82%, hvor 2450 MHz kun præsterer 55-70%. Ved industriel brug er driftsøkonomien for 915 MHz således bedre end tilsvarende afsat effekt opnået ved brug af 2450 MHz.
<i>Investering</i>	Et par af de refererede kilder opgiver prisen for industrielle MW-anlæg til 2.500-5.000 USD pr. installeret kW. Et anlæg til forstegning af eksempelvis kyllingeportioner med en kapacitet på 1200 kg/time krævede en MW-kapacitet på ca. 100 kW og kostede 500.000 USD (Datta, 2001; Schubert, 2005). Det har ikke været muligt at finde nyere kilder vedr. investeringsomkostninger.
<i>Procesøkonomi</i>	Der er fundet meget få beretninger om økonomien i MW-anvendelse til fødevarerapplikationer og kun få, der beretter om energibesparelser i forhold til konventionel opvarmning. Fricke og Mallah lover energigevinster på op til 70%. Driftsgevinster synes dog i lige så høj grad at ligge i reduceret bemanning, øgede udbytter samt reducerede rengørings- og hygiejneomkostninger.
<i>Kommercielliseringsgrad</i>	Det globale antal af industrielle MW-anlæg blev i 2014 vurderet til at være ca. 100 med en samlet effekt på 2-3 MW. Til sammenligning blev der produceret 75 mio. MW husholdningsovne i 2013 (Schiffman, 2014). De mest succesfulde MW-applikationer inden for fødevarer er tørring (snacks), temperering (alle kødtyper), forstegning af portioneret fjerkræ og skivet bacon samt, på det seneste, pasteurisering (frisk pasta, pizza, tærter og andre færdigretter).

Resumé

MW er en veludviklet teknologi, der ikke mindst har haft succes som husholdningsapparatur. På det industrielle område er MW stærkest repræsenteret inden for især non-food og i mindre omfang i levnedsmiddelproduktion (tørring, optøning, baconstegning samt pasteurisering af færdigretter). Der er ikke fundet aktuelle eksempler på industriskalaanlæg til in-line pasteurisering/sterilisering af pøsemagerivarer og konserves. Der synes at være mange udfordringer, ikke mindst omkring temperaturfordeling, indtrængningsevne og produktgeometri. Men også interessante potentialer til varmebehandling af produkter i mindre kalibre og tværsnit. En stor del af problemstillingen vedrører de tilgængelige frekvenser, og i USA, hvor 915 MHz er tilladt, er udbredelsen af MW-forarbejdning større. MW-anlæg skal som RF-anlæg ofte skræddersys til den aktuelle applikation og er således ikke fleksible som et traditionelt kogeudstyr (skab/tunnel/autoklave). De er derfor mest velegnede til store produktioner af ensartede produkter.

Det faktum, at frekvensen 915 MHz ikke er tilladt i Europa, bevirker, at MW-teknologien er mindre interessant i kødindustriel sammenhæng.

Aktivitets/vi- denscentre

Et utal af institutioner og virksomheder er beskæftiget med forskning, udvikling og fremstilling inden for MW, men primært til non-food applikationer, herunder:

- [Sairem](#); Lyon, Frankrig
- [Fricke und Mallah](#) Microwave Technology GmbH
- Prof. Lambert Feher; Ind. Microwave & Technology Center; Karlsruhe Institute of Technology
- [AMPERE](#); Ass. of Microwave Power in Europe for Res. and Education; - arrangerer jævnligt internationale konferencer
- Dr. Ricky Metaxas; St. John's College, Cambridge, UK
- [Industrial Microwave Systems LLC](#); North Carolina, USA
- [Thermex Thermatron](#) Industrial RF & Microwave Systems, USA

Kilder

Brunton, N. P., Lyng, J. G., Zhang, L., & Jacquier, J. C. (2006). The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef biceps femoris during cooking from 5 to 85°C. *Meat Science*, 72(2), 236–244.

Burfoot D. et al. (1988): "Microwave pasteurization of prepared meals". *J. Food Engineering*, 8, 145-156.

- Datta A. K.; Anatheswaran R. C. (2001): "Handbook of Microwave Technology for Food Applications". Marcel Dekker, Inc. New York/Basel.
- Giese J. (1992): "Advances in microwave food processing". Food Technology; 46(12); 118-123.
- Harlfinger L. (1992): "Microwave sterilization". Food Technology; 46(12); 57-60.
- Ku H. S. et al. (2002): "Productivity improvement through the use of industrial microwave technologies"; Computers & Industrial Engineering; 42; 281-290.
- Liu, W. Lanier, T. C., (2016): Rapid (microwave) heating rate effects on texture, fat/water holding, and microstructure of cooked comminuted meat batters. Food Research International 81, 108–113
- Póltorak A., Wyrwicz J., Moczowska M., Marcinkowska-Leśniak M., Stelmasiak A., Rafalska U., Wierzbicka A., Sun D.-W. (2015) Microwave vs. convection heating of bovine Gluteus Medius muscle: impact on selected physical properties of final product and cooking yield. Int. J. Food Sci. Technol. 50(4): 958-965
- Risman, P. O. (2005). "Microwave ovens and some industrial food applications in N. Europe"; Ampere Newsletter, April; 4 p.
- Schiffman, R. F. (2014): Microwave and dielectric drying. In Handbook of industrial drying, Ed. Mujumdar, A. S., CRC Press New York
- Schubert, H., Regier, M. (2005). "The microwave processing of food". University of Karlsruhe, Germany; Woodhead Food Series No. 105.
- Tang, J. et al. (2009). "FDA approves Washington State University researcher's revolutionary new food processing technology"; Press release Oct. 228.
- Würtz J. (2010): Økonomivurderinger af volumetriske opvarmningsprocesser. Notat af 30/9-2010, DMRI Projekt 1378406-02

Yarmand, M. and Homayouni R. A. (2011). Microwave processing of meat. In "Microwave heating" ed. Chandra U., Intech Open Publishers (www.intechopen.com)

Ohmisk opvarmning (OH)

RF og MW skaber volumetrisk opvarmning via elektromagnetisk energi, der afsættes som varme i produkterne som følge af deres dielektriske egenskaber. Ved OH er det produkternes elektriske modstand, der omdanner elektisk strøm til varme. Forudsætningen for at kunne OH-opvarme et produkt er med andre ord, at det er elektrisk ledende.

Opvarmningsprincip

Ved ohmisk opvarmning af et levnedsmiddel sender man en elektrisk strøm igennem produktet, der kan opfattes som en elektrolyt indeholdende vand med ladede partikler. Som følge af den elektriske modstand og de elektrisk ladede partiklers (ioner) kollision med molekyler under deres vandring mod elektroderne, omsættes den elektriske energi helt eller delvist til varme og får temperaturen til at stige i det behandlede produkt.

Den anvendte frekvens var i starten 50 eller 60 MHz, svarende til de typiske vekselstrømsforsyninger i EU og i USA, men senere begyndte man at anvende højere frekvenser (200 MHz), da det viste sig gavnligt for at modvirke elektrode-korrosion samt for at forbedre produktkvaliteten.

OH lader sig kun gennemføre med vekselstrøm (AC), da der med jævnstrøm (DC) hurtigt ville opstå polarisering af elektroderne som følge af neutralisering af positivt ladede ioner (fx $\text{Na}^+ \rightarrow \text{Na}$) og negativt ladede ioner ($\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2$) (Lyng & McKenna, 2007). Afsætning af elektrolytter i produktet er uønsket, og elektroder fremstillet i platin-coated titanium kan absorbere de små mængder af reaktionsprodukter, der kan opstå under driften.

En anden og måske mere lovende metode til minimering af elektrolytdannelse betegnes 'pulsed ohmic heating' (Samaranayake, 2005). Metoden er afprøvet af DMRI (e-cooker), og trods indledende gode resultater har efterfølgende afprøvninger været mere tvetydige.

Behandlingsdesign

OH kræver direkte kontakt mellem elektroder og produkt. OH kan udføres batchvis såvel som kontinuerligt, og især sidstnævnte har haft, omend begrænset, succes i

industri skala. Ved kontinuerlig opvarmning er det en forudsætning, at produktet er pumpbart. Der er igennem årene opnået gode resultater med lav- til mellemviskøse levnedsmidler som mælk, juice, frugtgrød og desserter samt færdigretter (supper, sovse og gryderetter med indhold af faste bestanddele). Teoretisk er udfordringen i forhold til kød i mindre grad viskositeten af massen, der behandles, men mere at denne

- a) må være homogen
- b) må være uden knogler
- c) må være mulig at pumpe, uden at strukturen skades (helt muskelprodukter)

Ved brug af OH til kødprodukter skal man være opmærksom på, at muskelvæv, fedt og bindevæv har forskellig ledningsevne, samt at ledningsevnen stiger med stigende temperatur. Ledningsevnen i rent fedt er yderst ringe og kun 10-15% af ledningsevnen i muskelvæv. Hjælpe- og tilsætningsstoffer, der bidrager til at øge ionstyrken, øger samtidig ledningsevnen og dermed OH-effektiviteten. Wang & Sastry (1997) fandt, at brug af kartoffelstivelse reducerer ledningsevnen på grund af mindre ionmobilitet efter forklistring.

Emmepiemme (v. Francesco Minicino), der nok er verdensførende inden for OH-anlæg, oplyser, at langt de fleste anlæg sælges til mælk- og frugtpurébehandling, men at der har været eksempler på brug til kød også. I Frankrig blev der i 2003 solgt et anlæg til Rilette-produktion, der teknisk set er at sammenligne med fed sylte. Anlægget kører i dag og virker tilfredsstillende. Vi er inviteret til at besøge virksomheden, ligesom de gerne vil komme på DMRI, næste gang de er i DK. De kommer her ofte pga. Arla.

Det har på Emmepiemme været forsøgt at lave kontinuerlig produktion af pølse. Dette var i høj grad muligt, dog gjorde man den erfaring, at der ikke måtte være frosne områder i farsen, da frosne partikler gør, at farsen bliver inhomogen ved OH-behandling. Farsen blev derfor forvarmet til ca. 10°C. Herefter varmes op med OH, og der sås ingen produktfejl. Umiddelbart er det svært at se, at frossen emulsionsfars skulle være et problem i dansk sammenhæng. Der er netop bestilt et forsøgsanlæg til SSICA (som DMRI) i Parma. Anlægget ankommer ultimo

2016 og skal lave Mortadella. Dette kunne være en oplagt projektsamarbejds mulighed for DMRI.

Emmepiemme mener, at det vil være muligt at lave anlæg til helkød også, men de afventer, at "nogen" laver/efterspørger det udviklingsarbejde, der skal til. Men teknisk set mener de, at det vil være muligt.

Emballering OH er, som nævnt, velegnet til pumpbare produkter og kan derfor indgå i aseptiske procesanlæg, hvor behandlingen følges op af en aseptisk emballering.

Temperaturfordeling Ensartet temperatur kræver homogen elektrolyt-fordeling i produktet under OH-behandling. Er det ikke tilfældet, må man indlægge tid til temperaturudligning. Ujævn temperaturfordeling øger samtidig risikoen for pletvis overhedning ('hotspots'), og de dele af produktet, der evt. måtte være isoleret af større fedtmarmoreringer, forbliver upasteuriserede. I tidligere forsøg har DMRI oplevet, at fiberretningen i helkød var af betydning for den afsatte varme.

Tidsforbrug OH er volumetrisk og kræver derfor som RF og MW signifikant mindre tid til at opnå ønsket centrumstemperatur end ved konventionel opvarmning.

Da stigetiden ved OH-behandling er meget kort (og i øvrigt lineær i modsætning til konventionel opvarmning), kan det, af hensyn til opnåelse af tilstrækkelig F-værdi, være nødvendigt med en holdetid.

Udbytte Der er ikke megen litteratur, der beskriver svind ved ohmisk opvarmning. Zell et al. skriver, at ved de korte behandlingstider, der anvendes, fører OH til ca. 30% lavere kogesvind i helmuskelprodukter (Zell et al., 2009). Senere finder samme gruppe et 10-15% højere kogesvind ved varmebehandling af kalkunkød (Zell et al., 2010).

I 2015 forsøgte DMRI sig med ohmisk opvarmning af hamburgerryg (proj. 2001910-02). Resultaterne var ikke entydige, men der var tendens til, at der kun var lille effekt på svind (både pos. og neg.), men også at OH-behandlede produkter blev bedømt mere negativt end traditionelle.

<i>Mikrobiologi/F-værdi</i>	Den mikrobielle inaktivering under OH sker som følge af termiske og elektromekaniske effekter. De termiske er de samme som ved konventionel varmebehandling, hvorimod de elektromekaniske fører til beskadigelse af organismernes cellemembraner. Det kaldes elektroporering og er et lavfrekvensfænomen, der fører til ladningsopbygning og poredannelse i cellemembraner. Det sker ikke med de højfrekvente opvarmningsteknikker som RF og MW, hvor de hurtige skift i polaritet forhindrer ladningsopbygning på cellemembranerne. En given pasteuriseringseffekt kan opnås på kortere tid ved OH end med konventionel opvarmning. Der findes, i litteraturen, flere metoder til validering af drabseffekt (F-værdi) ved OH-behandling.
<i>Kvalitet/Sensorik</i>	Instrumentelle analyser af såvel tekstur (TPA) som farve ($L^*a^*b^*$) dokumenterer små, men signifikante forskelle mellem OH og konventionelt varmebehandlede farsprodukter, når de behandles til samme centrumstemperatur. OH har oplagt potentiale til at kunne levere varmebehandlede produkter med lige så gode og måske bedre sensoriske egenskaber end traditionel opvarmning. Et forsøg af Shirtat et al. (2004) viste en bedre vandbindingsevne, men (kun) ved kraftige elektriske behandlinger en smule øget fedtudskillelse. Zell (2009) fandt, at oksekød havde markant lysere farve og var en smule mere sejt.
<i>Virkningsgrad</i>	OH anses for værende en mere effektiv opvarmningsteknik end konventionel varmebehandling. Litteraturen beretter om virkningsgrader >90% sammenlignet med 75% for RF og 50% for opvarmning med damp.
<i>Investering</i>	Iflg. OH-producenten EmmePiemme koster OH-anlæg typisk i størrelsesordenen 600 EUR pr. installeret kW. Et 240 kW anlæg med en kapacitet på 2 tons/time koster således godt 1,4 mio. DKK. EmmePiemme oplyser også, at OH generelt er halvt så dyrt i anlægsomkostninger pr. installeret kW som MW.
<i>Procesøkonomi</i>	OH kræver mindre energi-input for at gennemføre opvarmning til en given centrumstemperatur end konventionel opvarmning. Der rapporteres om helt op til 82-97% reduktion i energiforbruget. Shirsat et al. 2004 beskriver, at en emulsionsfars giver op til 19% mindre kogesvind. Zell et al. beskriver 22% mindre svind ved varmebehandling af oksekød (Zell et al., 2010a).

*Kommercia-
liseringsgrad* Over 100 OH-anlæg synes at være i anvendelse til varmebehandling af lav- og mellemviskøse produkter. En enkelt aktør (af de største), italienske Emmepiemme, har lavet forsøg med/udstyr til varmebehandling af middagspølsefars. Dette viste sig teknisk muligt, men der er endnu ikke kommercialiseret udstyr til formålet.

Det eneste eksempel på eksisterende industriel brug af OH til kødprodukter er fra Frankrig, hvor der produceres Rilette (pate/sylte) (pers. kommunikation Francesco Minicino, Emmepiemme).

OH-anlæg finder man derudover inden for en række non-food-områder som fx spildevandsbehandling og temperering/opvarmning af galvaniske opløsninger.

Resumé OH vurderes at have potentiale til volumetrisk pasteurisering og sterilisering af højviskøse kødprodukter af såvel fars- som helmuskeltypen. I sammenligning med konventionelle opvarmningsmetoder med vand og damp vurderes OH at kunne levere kødprodukter af samme eller bedre kvalitet samtidig med betragtelige tids- og energimæssige besparelser. En industrialisering af OH til kødprodukter kræver dog fortsat en stor F&U-indsats.

*Aktivitets-
centre*

- UCD; Dublin; Prof. James Lyng (*udstyr til afprøvninger og undersøgelser + høj kompetence*)
- [C-tech Innovation](#) (producenter af udstyr i pilot såvel som industriel skala)
- Emmepiemme Srl
- Ohio State Univ.; Dept. of Food, Agriculture and Biological Eng.; Howard Zhang
- Agriculture and Agri-Food Canada; Food Res. and Development Center; Québec; Canada; Prof. Gabriel Piette
- McGill University; Quebec; Canada. Dept. of Food Science and Agriculture Chemistry, v/Prof. H.S. Rawaswamy

Kilder Chiu L. et al. (2001): "Quality comparisons of ham emulsion (bologna sausage) cooked under ohmic and conventional heating conditions"; IFT Annual Meeting; New Orleans; Louisiana; USA.

Halleux, Piette, Buteau, Dostie (2005): "Ohmic cooking of processed meats: Energy evaluations and food safety considerations". Canadian Biosystems Eng.; 47; 341-347.

Præsentation udarbejdet af James Lyng & Markus Zell fra UCD/Dublin og anvendt på seminar om accelererede processer afholdt på Tulip 17. juni 2009.

Lyng og McKenna (2007): "Ohmic pasteurization of Meat and Meat Products"; I M. Kutz: "Food Machinery Design handbook: Farming, Processing and Packaging"; William Andrew Inc.

Palaniappan et al. (1990): "Effects of electricity on microorganisms: a review"; J. Food Proc. Pres. 14; 393-414.

Piette, G. et al. (2004): "Ohmic cooking of processed meats and its effect on product quality"; J. Food Science; 69 (2); E71-E78.

Piette, G. (2001): "Is there a future for ohmic cooking in meat processing?"; Can. Meat Science Assoc.; May; 8-10: PS. Text presented at ICoMST in Poland.

Samaranayake et al. (2005): "Pulsed ohmic heating – a novel technique for minimization of electrochemical reactions during processing". J. Food Science; 70 (8); E460-465.

Shirsat, N., Brunton, N. P., Lyng J. G., & McKenna, B. (2004): Water holding capacity, dielectric properties and light microscopy of conventionally and ohmically cooked meat emulsion batter. Eur. Food. Res. Technol. 219:1-5

Wang, W. C., and Sastry, S. K. (1997). Starch gelatinization in ohmic heating. Journal of Food Engineering 34:225-242.

Würtz, J. (2010): Økonomivurderinger af volumetriske opvarmningsprocesser. Notat af 30/9-2010, DMRI Projekt 1378406-02

Zell, M. et al. (2009): "Ohmic heating of beef muscle – optimisation of meat preparation". Meat Science; 81, 693-698.

Zell, M., Morgan, D. J., Cronin, D. A. (2012): "Quality evaluation of an ohmically heated ham product"; Food

Bioprocess Technol. Volume 5, Issue 1, January 2012,
Pages 265-272

Zell, M., Lyng, J. G., Cronin, D. A., & Morgan, D. J.
(2010a). Ohmic cooking of whole beef muscle — Evaluation
of the impact of a novel rapid ohmic cooking method on
product quality. *Meat Science*, 86, 258–263.

Zell, M., Lyng, J. G., Cronin, D. A., & Morgan, D. J.
(2010b). Ohmic cooking of whole turkey meat — Effect of
rapid ohmic heating on selected product parameters. *Food
Chemistry*, 120, 724–729.

Zoltai P. et al. (1996). "Product development considerations
for ohmic processing"; *Food Technol.* 50 (5); 263-266.

Innovationsrapport

Baggrund

Der blev udført specifikke innovationsforløb på to virksomheder. Til den kreative proces blev anvendt Creative Idea Solution (CIS), udviklet Teknologisk Institut. Denne er beskrevet mere udførligt i bilag 1. Den kreative proces bestod af nedenstående 6 faser:

Fase 1: Videnindsamling. Hvad er kendt, hvad gør man, og hvad kan man gøre?

Fase 2: Ud fra baggrundsviden fra fase 1 blev der stillet en række innovationsspørgsmål, der dannede grundlaget for workshoppen.

Fase 3: Workshoppen var fokuseret på spørgsmål fra fase 2. Udover teamet deltog flere deltagere fra virksomheden, deltagere fra de andre virksomheder samt eksperter indenfor de områder, vi havde valgt at udfordre.

Fase 4: På baggrund af workshoppen blev der udarbejdet rapport for alle idéerne.

Fase 5: De foreslåede løsninger blev præsenteret for virksomhederne.

Fase 6: Mulighed: Fælles symposium med fremlæggelse af alle idéer til inspiration for alle. Blev afholdt i forbindelse med et følgegruppemøde.

Referat fra workshop – Fase 3

Formål Formålet var at diskutere, hvordan processerne for fremstilling af pølser og hamburgerryg kan nytænkes med særligt fokus på:

- tørre-, røge- og varmebehandlingsprocesser
- alternativer til naturtarm
- saltning af hamburgerryg

Generelle betragtninger

Tarm Især for produktion af pølser er tarmen en stor udgift, der udgør op til 1/3 af prisen på produktet. Den kan erstattes af kollagentarm, og det er nok mest en følelsesmæssig sag at bevare naturtarmen. Tarmens funktion er bl.a. at forme farsen og give det karakteristiske knæk. For hamburgerryg bruges tarmen primært til at holde formen på kødet, da det ellers ville vride sig.

Er det muligt at lave en tarm vha. laser? Tarmen skal have samme egenskaber som fibertarmen.

Enkel håndtering mod bulkproces Saltningen ved produktion af hamburgerryg og stopning af pølserne/hamburgerryggene i tarm er de eneste steder i processerne, hvor man har fat i det enkelte produkt, ellers er resten bulkproduktion indtil pakning. Dette bør udnyttes til en mere målrettet automatiseret og kontinuerlig produktion.

Tørreprocessen Tarmene skal tørres, for at røgen kan sætte sig på tarmen.

Røgning Røgen går kun meget begrænset igennem tarmen og ind i produktet for begge produkter, men under processen anvendes rigtigt meget røg.

Mål Kan vi udvikle en mere kontinuert proces, hvor der holdes fokus på det enkelte produkt under hele processen, og der kun tilføres den røg/varme m.m., som er nødvendig for det enkelte produkt?

Hamburgerryg

Kan vi slice hamburgerryggen inden varmebehandling? Kan vi undgå tarm og undgå de store røge-/tørre-/varmeskabe?

Mulige scenarier

1: Den rå filet fryses i forme, så fileten får den rigtige form. Der påføres flydende røg eller rigtig røg med dyser. Dette skal måske gøres inden frysning. Fileten slices, og skiverne påsprøjtes salt-/nitritlage enten

tørt eller som en opløst aerosol. Skiverne emballeres helst i vakuum, kan det gøres i "løs" vakuum kun med CO₂? Herefter varmebehandles den slicede, emballerede hamburgerryg.

2: Fileten saltes. Her kan måske bruges en mere effektiv multistiksprøjte. Det ser ud til, at der er kommet nye på markedet fra Metalquimia <http://en.metalquimia.com/articles/technological-documents/sprayplus-system-evolution-of-injection-of-cooked-meat-products/>. Fileten påføres røg. Fileten fryses ved ca. -5°C. Når kunden bestiller slicet hamburgerryg, så varmebehandles hamburgerryggen, der påføres evt. røg, der emballeres jf. scenarie 1, og produktet er klar til at blive sendt direkte til kunden.

Pølser

Kan pølsestopperen erstattes med en ekstruder, der former og varmebehandler pølserne med det samme? Røgen kan efterfølgende påføres som flydende røg, eller er det muligt at påføre ved super kritisk ekstraktion? Der skal gerne være mulighed for at benytte forskellig træsorter m.v. til at give forskellige smage.

Er det muligt at lave en tarm vha. laser? Tarmen skal have samme egenskaber som naturtarme, dvs. knæk – kunne koges og grilles m.v. Måske kan der fremstilles forskellige typer vha. laserbehandling af pølserne. Herefter er pølserne klar til emballering.

En anden mere simpel model vil være stopning af pølser i kollagen-/naturtarm med påsprøjtning af røg enten flydende eller rigtig røg, lige før eller efter tarmen påsættes – eller bruge tarm med røgsmag. Herefter varmebehandles den enkelte pølse ved fx induktion, mikrobølger eller andet og køles let ved fx kontaktkøling eller vakuumpkøling. Emballeres og køles yderligere fx i vand evt. underafkølet vand. Pølserne bør skinpakkes eller vakuumpakkes for at forbedre kølingen.

Automatiserede anlæg på markedet:

<http://marel.com/further-processing/systems-and-equipment/end-products/sausages/cooked--smoked/qx-link-sausage-system/382?prdt=1>

Marel og andre har udviklet automatiserede anlæg. Efter formning af farsen i stopperen overhældes farsen med kollagen eller alginat, herefter kører produktet igennem et vandbad med bl.a. calcium og alginat, eller kollagen omdannes til en "tarm". Pølserne skæres herefter i ønsket størrelse, tørres, påføres flydende røg, tørres, emballeres, pasteuriseres og køles.

Bilag 1

CIS-model

Til den kreative proces anvendes Creative Idea Solution (CIS), udviklet af Teknologisk Institut.

Forslaget til gennemførelse baseres på, at der principielt gennemføres to specifikke innovationsforløb – et for hver virksomhed, men hvor virksomhederne deltager i hinandens projekter som ressourcepersoner (sammen med andre). For de deltagende virksomheder betyder dette specifikt:

- 1: Hver enkelt virksomhed får konkrete forslag tilpasset deres situation. Langsigtede forslag, længere sigtede forslag og forslag til mulig implementering på kort sigt
- 2: Ved deltagelse i andres innovationsforløb får deltagerne implicit viden og idéer om egen situation
- 3: Deltagerne får prøvet systematisk innovation i tre forskellige konstellationer.

Forløbene for hver virksomhed gennemføres i forslaget over følgefaser:

For hver virksomhed etableres et team, der er de gennemgående figurer, som sikrer fremdrift og resultat. Teamet består af 3-5 personer, gerne deltagelse fra virksomhed, men ikke et krav.

Fase 1: Videnindsamling. Hvad er kendt, hvad gør man, og hvad kan man gøre? Dette omhandler besøg på hver virksomhed, hvor der spørges ind til situationen, og hvor etablerede antagelser undersøges og udforskes. Derudover gennemføres state of the art-analyse.

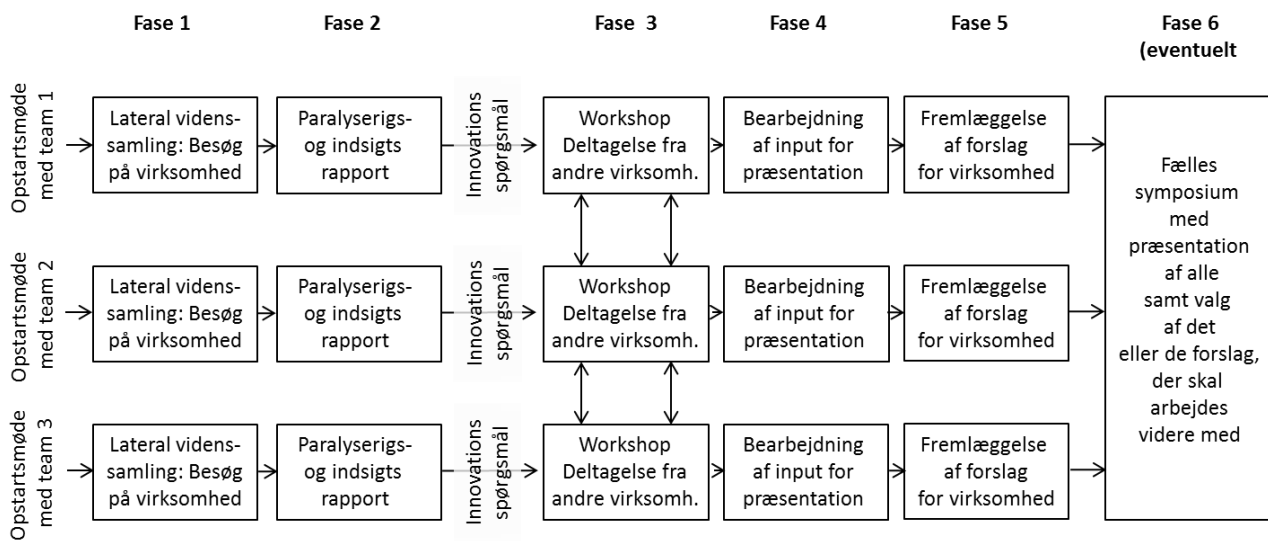
Fase 2: De antagelser, der bør udfordres, defineres herunder paralyseringsbearbejdelse og indsigtssbearbejdelse (hvor er paradigmet løst?). Dette er en rapport, der lægger op til en række innovationsspørgsmål, der er grundlaget for workshoppen.

Fase 3: Workshop. Workshoppen er fokuseret på opgaven, specifik på laterale spørgsmål. Udover teamet deltager flere deltagere fra virksomheden, deltagere fra de andre virksomheder samt eksperter indenfor de områder, vi har valgt at udfordre.

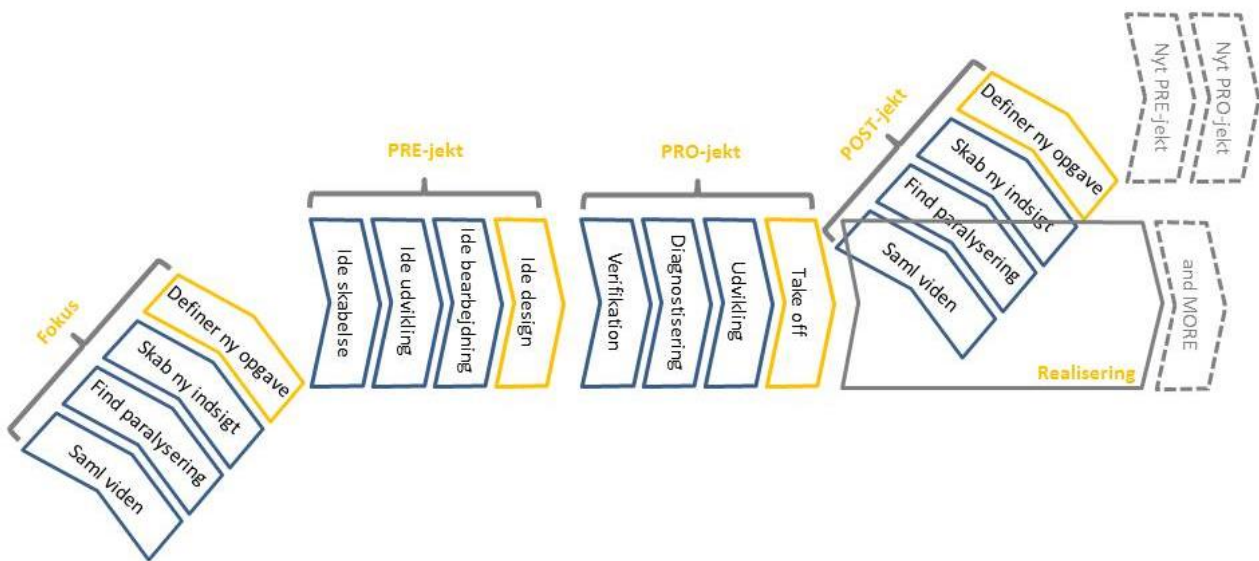
Fase 4: De på workshoppen skabte input behandles i workshop af teamet (horisontal innovation), hvorpå der udarbejdes rapport for alle idéerne. Det hele styres og koordineres af det af Teknologisk Institut udviklede Idea Management System Rosetta. (I nærværende er der valgt ikke at bearbejde idéer vertikalt for forretningsmodellering).

Fase 5: De foreslåede løsninger præsenteres for virksomheden.

Fase 6: Mulighed: Fælles symposium med fremlæggelse af alle idéer til inspiration for alle.



For virksomheden skabes mulighed for at arbejde med konkrete problemstillinger, for projektet fremkommer forslag at arbejde videre med.



Figur 1. CIS-modellen

CIS-framework baseres på en række grundlæggende principper, som er basis for nærværende tilbud, for eksempel:

- Hver aktivitet i processen ansues som en syntese, der er afhængig af sit input og output, og kan derfor ikke stå alene. Således er der f.eks. ikke meget mening i at afholde en workshop, hvis ikke denne er velplanlagt, og hvis der ikke følges op på den. Dette planlægges ved, at der organiseres et team, der arbejder med projektet, hvortil der etableres en række workshops for tilvejebringelse af materiale, der

kan arbejdes med i projektteamet. Disse workshops kan variere meget i omfang af både deltagere, form og tidsperspektiv.

- Workshops beskrives som aktiviteter, hvor der arbejdes med forskellig viden. Dette kan være i teamet eller med andre (grupper). Mellem hver workshop vil der være individuelt arbejde.
- Der sondres mellem team og gruppe: Teamet er det gennemgående "hold", der sikrer resultater. Grupper er en samling af eksperter, brugere, interessenter osv., der ved givne situationer inddrages for at bistå, understøtte og stimulere teamet. Teamet er på plads – eller delvis på plads inden projektopstart, grupper defineres efter behov.
- Idépotentiale er sårbart og eftervises via en proces med tilførsel af viden. Derfor findes der ikke beslutnings- eller evalueringsprocesser i forløbet, uden at der er tilstrækkelig viden tilgængelig.
- Den geniale idé er unik, hvilket dog først erkendes efter processen. Derfor behandles hvert enkelte idé som værende unik og sammenfattes ikke med andre idéer eller bedømmes.

CIS indeholder tre faser, hvor hver fase har fire step. Denne metode er en veldokumenteret metode, og metoden er efterprøvet gennem 1.000 gennemførte forløb siden år 2000.