



## Rapport RK Green & Clean Varmebehandling ved forvarmning med mikrobølger

15. november 2017  
Proj.nr. 2005397-09  
CVE/MT

Christian S. Vestergaard

*Baggrund og formål* Varmebehandling af kødprodukter er en energi- og tidskrævende proces. Opvarmning med mikrobølger (MW) er hurtig og energieffektiv, men metoden er ikke velegnet til kogning af hele muskler, da kødets struktur ændres dramatisk ved omkring 65°C, med store negative konsekvenser for tekstur og vandbinding (Brunton et al., 2006) til følge. Det er et velkendt fænomen, at MW-behandling kan bevirke uensartet varmebehandling. Derfor tilstræbes det, at den optimale temperatur, til hvilken kødet behandles, er et vist stykke under 65°C.

Teoretisk burde det derfor være muligt at forvarme kød med mikrobølger for derefter at færdigbehandle med konventionel varmebehandling. Mikrobølger ved 915 MHz, der er den typiske, industrielt anvendte frekvens, trænger 10-15 cm ind i frosset kød. I saltet kød over frysepunktet er den dielektriske konstant dog markant anderledes, og erfaringen viser, at mikrobølger her kun trænger ca. 2-2,5 cm ind, hvorfor der i nærværende forsøg blev styret efter temperaturen i denne dybde fra overfladen (Zang et al., 2004, Zang et al., 2007, Gou et al., 2017).

Produkterne blev forvarmet i MW-ovn. Umiddelbart efter blev de flyttet til kogeskab, hvor de blev varmebehandlet ved 80°C til 72°C i centrum. Herefter blev den tid og energibesparelse, som de kombinerede processer måtte kunne frembringe, udregnet.

Hypotesen i dette forsøg var, at det er muligt at spare tid og energi ved at forvarme kød med mikrobølger, inden færdigkogning i kogeskab.

*Forsøgsgang* Der blev arbejdet med skrottet skinke i steriltarm som model for helmuskelprodukter. En 75 kW, 915 MHz MW-batchovn var af mærket Amtek.

Indledningsvis blev vand (varierende mængder) i spande placeret hhv. midt på og i siden af drejeskiven og varmet op fra ca. 13°C til 40°C med henblik på at bestemme ovnens virkningsgrad. Der blev bestemt en gennemsnitlig virkningsgrad på 71%, hvilket ikke er langt fra de 75%, der typisk angives for MW-anlæg.

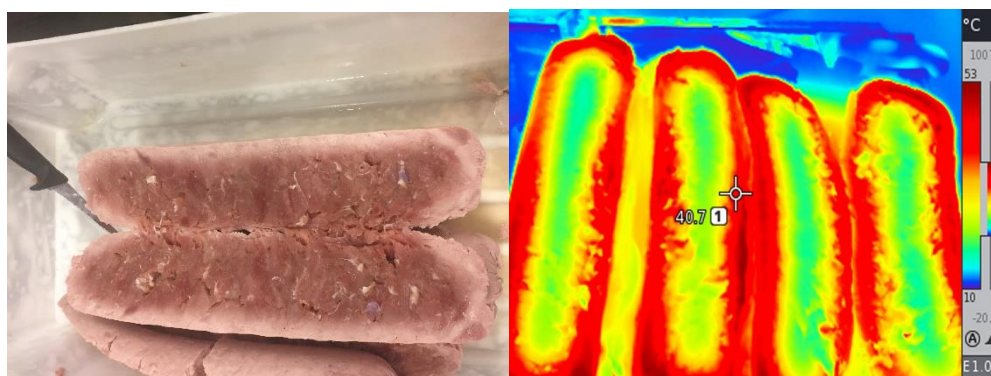
**Tabel 1.** Målte virkningsgrader i MW-ovnen.

|                   | Virkningsgrad                |           |              |             |               |                  |                     |                   |           |
|-------------------|------------------------------|-----------|--------------|-------------|---------------|------------------|---------------------|-------------------|-----------|
|                   | Indstillet effekt [Tid [min] | Vand [kg] | Start T [°C] | Slut T [°C] | RPM [omd/min] | Energi vand [kJ] | Optaget effekt [kW] | Virkningsgrad [%] |           |
| 2 spande midt     | 8                            | 6         | 20,8         | 13,2        | 37,9          | 4                | 2149                | 6                 | 75        |
| 2 spande midt     | 8                            | 6         | 20           | 13,9        | 38,7          | 4                | 2070                | 5,8               | 72        |
| 1 spand midt      | 8                            | 3         | 9,2          | 13,5        | 40,3          | 4                | 1028                | 5,7               | 71        |
| 1 spand midt      | 8                            | 3         | 9,6          | 13,7        | 39,3          | 4                | 1030                | 5,7               | 72        |
| 1 spand side      | 8                            | 3         | 10           | 13,2        | 36,3          | 4                | 968                 | 5,4               | 67        |
| 1 spand side      | 8                            | 3         | 10,5         | 13,2        | 35            | 4                | 955                 | 5,3               | 66        |
| <b>Gennemsnit</b> |                              |           |              |             |               |                  |                     |                   | <b>71</b> |

Der blev produceret 50 skrottede skinker af 3 kg (kaliber 100 mm) med et saltindhold på 2% jf. forsøgsplan (proj. 2005397-09 af 22.08.2017).

Skinkerne (5 stk. = 15 kg) blev placeret i plastkasser og behandlet ved drejeskiven på højeste indstilling (4 RPM) for at udjævne evt. lokale forskelle i ovnen mest muligt.

Et forforsøg, hvor 5 skinker (15 kg) blev trinvist opvarmet ved 20 kW fra 5°C, fastlagde, at 16 sekunders behandling modsvarede en gennemsnitlig temperaturstigning 2 cm under overfladen på 5°C. Det blev bemærket, at der var endog meget store (op til 100%) usystematiske forskelle i varmen afsat i produkterne under samme behandling. Eksempelvis målt på en skinke 26 og 45°C på samme tidspunkt og i samme dybde, blot 15 cm fra hinanden (i punkter uden endekanteffekt).



**Figur 1.** Det blev eftervist, at varmen i hovedsagen afsættes inden for de første 2 cm fra overfladen. Varmefordeling visualiseret med IR-kamera

Det blev nu planlagt at lave en forsøgsserie, hvor tid og effekt blev indstillet, så temperaturer i 15 kg skinke batches skulle nå hhv. 35°C, 40°C, 45°C, 55°C, 65°C og 75°C ved 20 kW behandling.

Det blev dog hurtigt klart, at tarmene ikke kunne holde til behandlingerne (de sprækkede), og at de planlagte mest intensive behandlinger derfor ikke ville kunne gennemføres.



**Figur 2.** Tarme kunne ikke holde til 20 kW opvarmning til 55°C, 2 cm under overfladen.

Det var derfor, for de mest intensive behandlinger, nødvendigt at sænke effekten og øge tiden, således at den samlede tilførte effekt var den samme, men blev tilført mere skånsomt. Omkostningen herved var selvfølgelig tid. Den endelige behandlingsplan til hovedforsøget kom derfor til at se ud som anført herunder.

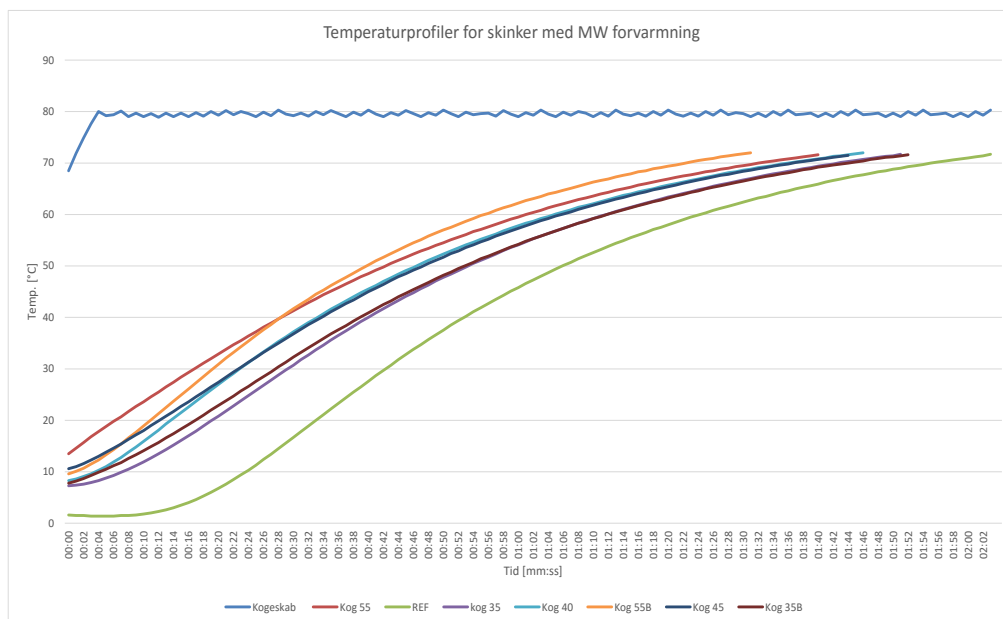
**Tabel 2.** Forbehandling af skinke i MW-ovn før færdigkogning i kogeskab.

| Starttemp kød [C] | Target [C] | 20 [kW]         | 10 [kW] | 5 [kW]  | kode       | Teo. kW tilført |
|-------------------|------------|-----------------|---------|---------|------------|-----------------|
| 3                 | 35         | 117 Sek         |         |         | 35         | 0,46            |
| 3                 | 35         |                 |         | 468 Sek | 35b        | 0,46            |
| 3                 | 40         | 128 Sek         |         |         | 40         | 0,51            |
| 3                 | 45         |                 | 307 Sek |         | 45         | 0,61            |
| 3                 | 55         |                 | 380 Sek |         | 55         | 0,75            |
| 3                 | 55         |                 |         | 760 Sek | 55b        | 0,75            |
| 3                 | 72         | <i>Kogeskab</i> |         |         | <i>REF</i> |                 |

### Resultater

Diagrammet herunder viser temperaturudviklingen i produkterne ved kogning i kogeskab efter indledende MW-forvarmning. Mens referenceproduktet starter ved 3°C, har de MW-forvarmede produkter kernetemperaturer på mellem 8 og 13°C. Kogeforløbet blev kørt efter en normal procedure, hvor kammertemperaturen var 80°C, og centrumføleren skulle nå 72°C, før kogningen var tilendebragt.

Som det fremgår af figuren, når alle behandlinger 72°C før referencen. Ved at regne differencen i optaget energi i energiforbrug ud mellem referencen og de forbehandlede prøver kan den forbrugte energi for hver behandling beregnes. Beregningerne blev foretaget med "IT-værktøjet" udviklet i RK Green & Clean.



**Figur 3.** Temperaturprofiler (centrum) for skinker i kogeskab.

**Tablet 3.** Energi- og tidsforbrug ved kombineret MW og konventionel varmebehandling af skinker.

|  | REF  | Kog 35 | Kog 35B | Kog 40 | Kog 45 | Kog 55 | Kog 55B |
|--|------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| <b>Energi [KWh], kogeskab</b>            | 1,65 | 1,56   | 1,56    | 1,51   | 1,51   | 1,48   | 1,44    |
| <b>Udgift [kr/kg], kogeskab</b>          | 0,18 | 0,17   | 0,17    | 0,16   | 0,16   | 0,16   | 0,15    |
| <b>Energi [KWh], MW ovn</b>              | -    | 0,46   | 0,46    | 0,51   | 0,61   | 0,75   | 0,75    |
| <b>Udgift [kr/kg] MW ovn</b>             | -    | 0,02   | 0,02    | 0,03   | 0,03   | 0,04   | 0,04    |
| <b>Besparelse [Kwh] Kombi proces</b>     | -    | -0,37  | -0,37   | -0,36  | -0,46  | -0,58  | -0,54   |
| <b>Besparelse [kr/kg] Kombi proces</b>   | -    | -0,01  | -0,01   | -0,01  | -0,02  | -0,02  | -0,02   |
| <b>Tidsbesparelse, Kokogeskab [min]*</b> | 0    | 12     | 11      | 17     | 19     | 22     | 32      |
| Tidsforbrug MW own                       | 0    | 2      | 8       | 2      | 5      | 6      | 13      |
| Tidsbesparelse kombiproces               | 0    | 10     | 3       | 15     | 14     | 16     | 19      |

\* referencekog tog 123 min.

Tablet 3 viser, at der ikke er sparet noget på den energimæssige side ved brug af kombinationsbehandlingen. Faktisk viser tallene en smule højere forbrug, men dette tilskrives dels usikkerhed i beregninger og målinger, dels det faktum at produkterne nødvendigvis vil have tabt lidt varme i de ca. 2 min, der gik fra MW-behandlingens afslutning, til de var på plads i kogeskabet. I en evt. kontinuert og optimeret proces må dette tab være minimeret.

Teoretisk bør der være en energimæssig fordel i at tilføre varme i MW-ovnen, idet en MW-ovn typisk har en virkningsgrad på 75% (vi målte og har regnet med 71% jf. tabel 1), mens et kogeskab har en virkningsgrad på 60%. Uanset dette er forskellene i energiforbrug ikke markante.

Derimod ses en tydelig fordel i tidsbesparelse. I denne undersøgelse kunne der spares op til 19 min ud af 123 min (15%), noget der over en produktionsdag kan frigøre kogeskabet i adskillige timer. De to behandlinger 35/35B og 55/55b udmærker sig ved, at "B"-skinkerne har fået tilført samme energimængde, men over et længere tidsinterval. Dette vil, i teorien, befordre, at varmen ledes længere ind i produktet alene på grund af tid til almindelig konduktionsvarmeledning. I tillæg har det desuden tidligere været fundet, at mikrobølgernes indtrængningsdybde falder ved højere temperatur (Zang et al., 2004).

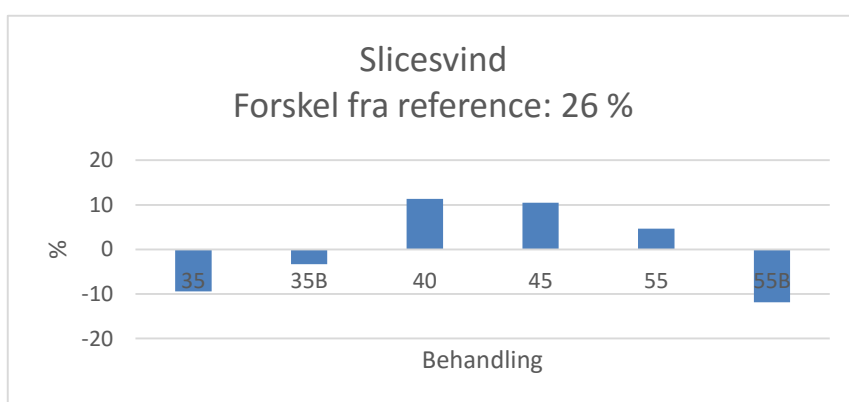
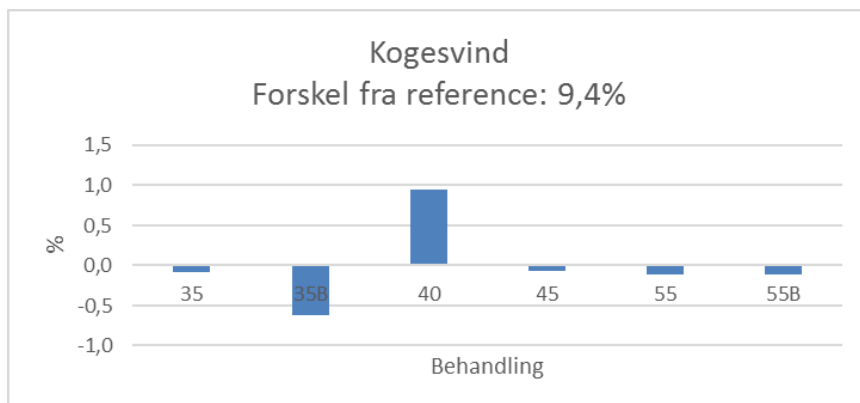
Dette ser således også ud til at være tilfældet, idet der ved "B"-prøverne (mindre områder i produktet med høj temperatur) spares mere tid i kogeskabet end ved de tilsvarende prøver, der modtog hurtigere opvarmning. Teoretisk burde en ideel forvarmningsmetode derfor være at behandle produkterne med en lav til moderat intensitet i "lang" tid for derefter at koge dem færdige i kogeskab. Den ideelle kombination af tid og temperatur vil skulle optimeres for det enkelte produkt (sammensætning, mængde, proceskrav) og MW-anlæg. Men det kan konkluderes, at der er en markant tidsmæssig besparelse ved forvarmning af produkterne ved brug af MW-forvarmning.

*Kogesvind og slicesvind* Der var ingen tydelige tendenser ift. kogesvind. Data er svage (få/ingen gentagelser), da flere tarme sprang under MW-varmebehandlingen, hvorfor det mere var reglen end undtagelsen, at der var 5 skinker, hvorpå der kunne måles.

Af samme grund giver det ikke mening at anføre statistiske usikkerheder.

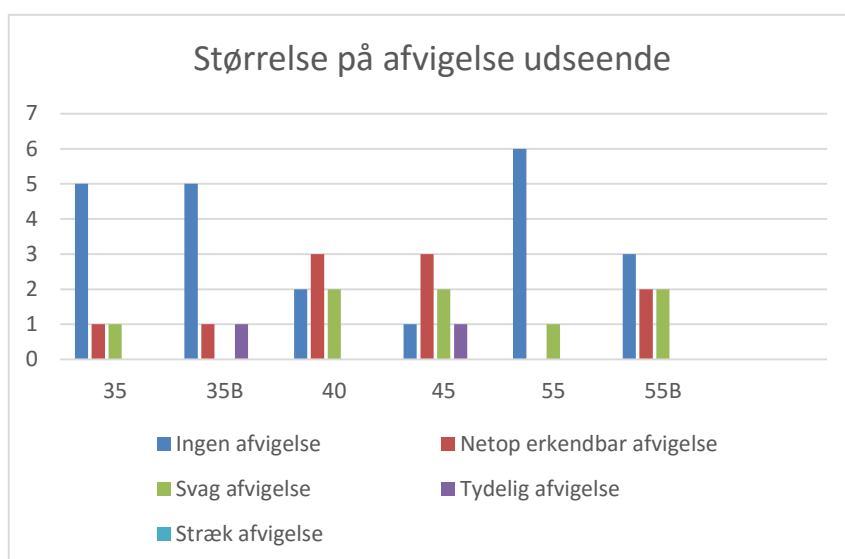
- Desuden bemærkes det, at proceduren for måling af kogesvind (totalvægt, fratrukket produktvægt og tarmvægt) er ret følsom for, om der sidder lidt mere eller mindre kogegele tilbage på tarm og produkt.
- Produkterne var uden fosfat, netop med henblik på at kunne registrere evt. forskelle i svind og tekstur. Dette giver væsentligere dårligere sliceability. I tillæg blev produkterne slicet manuelt, hvilket muligvis har bidraget til de høje slicetab.

Til trods for disse forbehold antyder data i figurerne herunder, at der ikke er en væsentlig systematisk tendens omkring kogesvind og slicesvind. Alle produkterne fremstod i øvrigt som gode, attraktive og normale. Man stod ikke tilbage med indtrykket af, at nogle afveg fra referencen.

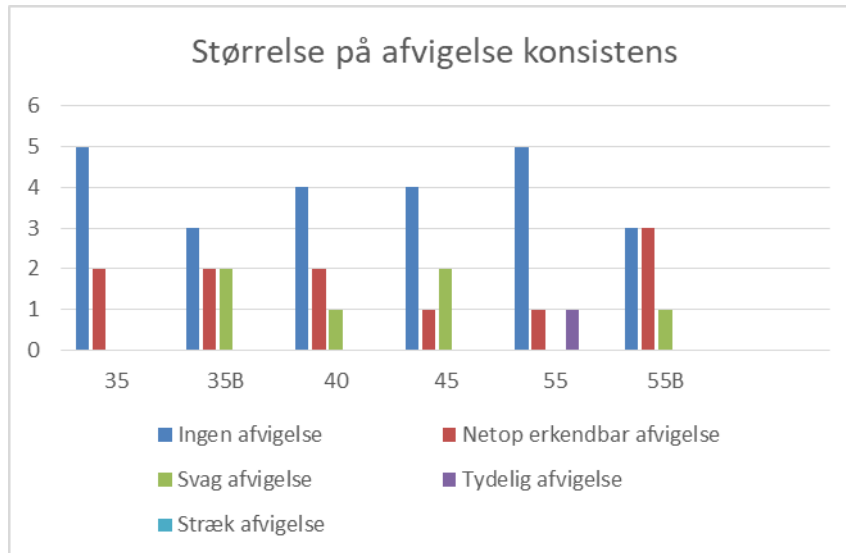


#### Sensorik

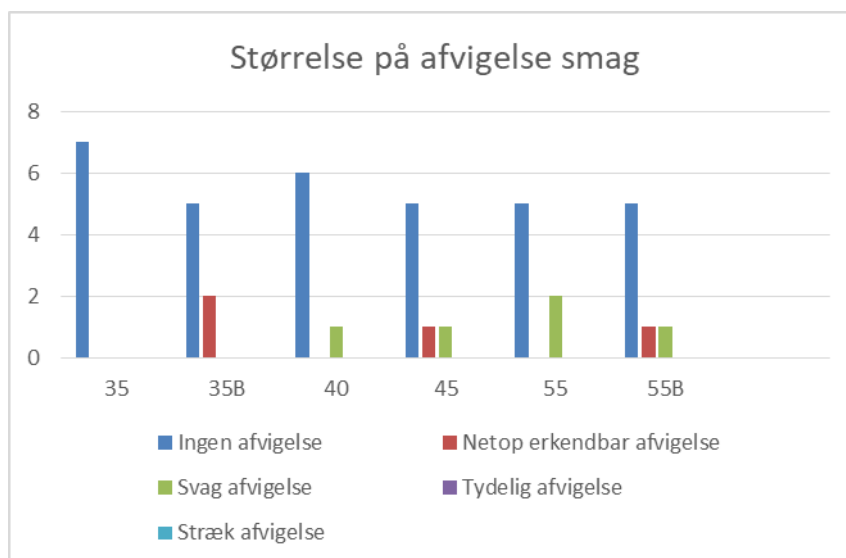
Skinkerne blev bedømt af 7 (utrænede) dommere, der skulle sammenligne de MW-kogte produkter med referencen og angive, hvor meget de afveg herfra. På udseende var det i overvejende grad ingen eller kun "netop erkendbar afvigelse". Der var en enkelte angivelse af, at "35B" og "45" afveg tydeligt. Der er ingen oplagt forklaring herpå.



Skinkernes konsistens blev også i overvejende grad bedømt som værende tæt på uforandret. Der var en svag tendens til, at nogle dommere kunne erkende en smule forskel, men den lader ikke til at være relateret til MW-behandlingen, da der ikke systematisk ses en sammenhæng til behandlingsintensitet.



Smagen afveg ikke fra referencen. Igen var der ganske få angivelser af, at der kunne erkendes en smule forskel, men tendensen var svag og usystematisk.



*Diskussion* Det gennemførte forsøg havde visse begrænsninger. Der var tale om en MW-batchovn, der havde en mindre ensartet strålingsfordeling end et industrielt båndanlæg ville have, hvorfor temperaturforskelle i de behandlede produkter må formodes at kunne reduceres ved industriel produktion. Der skete et energitab fra produkterne, da de blev flyttet fra MW-ovn til koge-skab. Dette må kunne optimeres i en industriel opsætning.

Energien blev tydeligvis afsat i de yderste 2-2,5 cm, hvorfor produkter med (ensartet) radius tæt herpå, egner sig bedst til forvarmning med MW. Vi fandt en virkningsgrad for MW-ovnen på 71%, hvilket må forventes optimeret en smule i et båndanlæg.

Vi fandt ingen energibesparelse i dette forsøg. Men der kunne i bedste fald opnås en tidsbesparelse i den samlede kogeprocess på ca. 15%. De største besparelser blev opnået, når der blev anvendt mild til moderat MW-forvarmning, uanset at dette tog længere tid. Der var ikke noget, der tydede på, at forvarmning med MW resulterede i kvalitetsforringelser. Om end data er svage, var der heller ingen tegn på ændringer i kogeudbytte eller slicesvind.

*Konklusion* Forvarmning med mikrobølger ved moderat intensitet kan reducere tiden til konventionel varmebehandling, uden negative konsekvenser for produkt-kvalitet eller udbytte. Processen vil skulle optimeres for hver specifik kombination af produktsammensætning og MW-kombinationsproces.

*Referencer* Zhang L., Lyng J.G., Brunton N., Morgan D., McKenna B.: Dielectric and thermophysical properties of meat batters over a temperature range of 5-85°C. Meat Science 68 (2004) 173-184

Lu Zhang, James G. Lyng\*, Nigel P. Brunton: The effect of fat, water and salt on the thermal and dielectric properties of meat batter and its temperature following microwave or radio frequency heating. Journal of Food Engineering 80 (2007) 142-151

Qiushan Guo, Da-Wen Sun, Jun-Hu Cheng, Zhong Han: Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. Trends in Food Science & Technology 67 (2017) 236-247