



Rapport

Just in time-optøning

Temperering og delvis optøning af frosne produkter med mikrobølgeteknologi (MW)

Laurits Beck Nielsen, Jens M. Würtz, Marchen Hviid

Sammendrag

Formål Forsøgets formål var at teste og definere procesparametrene ved temperering af frosne svinekamme (1660) i karton a 7 stk./21 kg samt karton med frosne trimmings a 27 kg (30% fedt) ved brug af mikrobølgeteknologi.

Resultater Ved temperering blev følgende resultater observeret med én indstilling af MW og optøningskabine:

Kamme

| MW-effekt (optaget) | 6,5 kW |
|-----------------------------|------------------|
| MW-tid (for 21 kg) | 8 min |
| MW-tid (relativt til masse) | 23 sek./kg |
| Tempereringsniveau | -25°C til -2,7°C |
| Kamme med hotspots | 19% |
| Koteletter med hotspots | 8% |
| Reduktion i optøningstid | 57% |

Trimmings

| MW-effekt (optaget) | 6,5 kW |
|-----------------------------|------------------|
| MW-tid (for 28 kg) | 13 min |
| MW-tid (relativt til masse) | 24 sek./kg |
| Tempereringsniveau | -25°C til -1,5°C |
| Reduktion i optøningstid | 50% |

Konklusion Det er muligt at halvere optøningstiden for kamme ved at kombinere optøning i kabine med MW-temperering. Det vurderes, at hvis MW-tempereringsniveauet reduceres en smule (sammenlignet med niveauet anvendt i denne undersøgelse), vil tempereringsprocessen kunne forløbe uden hotspots og med næsten ens tempereringsniveau i produkterne.

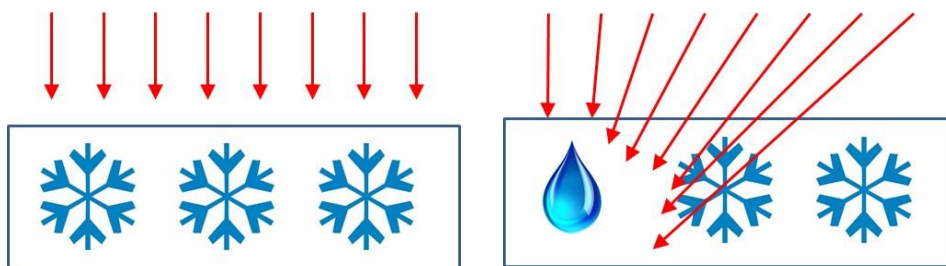
Karton med trimmings kan MW-tempereres direkte til et energiniveau, hvor det vurderes klar til hakkeproces i forbindelse med fremstilling af pølser. Hvis der ønskes en fuld optøning, hvor kernen er over -0,8°C, vil et ophold i kølerum skulle indgå i procesrutinen. MW-temperering kan reducere holdetiden i kølerum med op mod 50%.

Baggrund

Ved mikrobølge-opvarmning (MW) overføres energien til produktet via elektromagnetiske bølger genereret i frekvenserne 915 MHz (industriell anvendelse) eller 2450 MHz (husholdninger). MW er en kendt teknologi til opvarmning/temperering og fungerer ved, at energi absorberes dielektrisk i selve produktet og betegnes derfor som en intern opvarmning/volumetrisk opvarmning; modsat luft eller vand hvor energien tilføres fra overfladen. Indtrængningsdybden for 915 MHz er 10-15 cm i frostvarer. Indtrængningsdybden reduceres til en tredjedel i et optøet produkt.

Som følge af mikrobølgernes reducerede indtrængningsevne i et optøet produkt, anbefales MW-opvarmning i højere grad anvendt til temperering af frossent kød. Ved temperering hæves temperaturen i det frosne produkt til mellem -5 og -2°C. I dette område er mellem 50 og 75% af produktets vandindhold stadigvæk i fast form.

Mikrobølger virker tilnærmelsesvis jævnt i produktet, så længe det er frossent, men mikrobølgerne afsætter i større grad energi i frit vand end i is, og dette kan føre til såkaldte 'hotspots', se figur 1a og 1b, som illustrerer dette fænomen.



Figur 1a og 1b. MW (de røde linjer) "angriber" flydende vand, fremfor iskrystaller, og giver anledning til hotspots.

Formål

Forsøgets formål var at teste og definere procesparametrene ved temperering af frosne svinekamme (1660) i karton a 7 stk./21 kg samt karton med frosne trimmings a 27 kg (30% fedt) ved brug af mikrobølgeteknologi.

Ved definering af procesparametre fokuseres på at opnå størst mulig volumetrisk energioverførsel under samtidig hensyntagen til at undgå værdiforringende udvikling af "hotspots" i produktet.

Indstilling af procesparametre

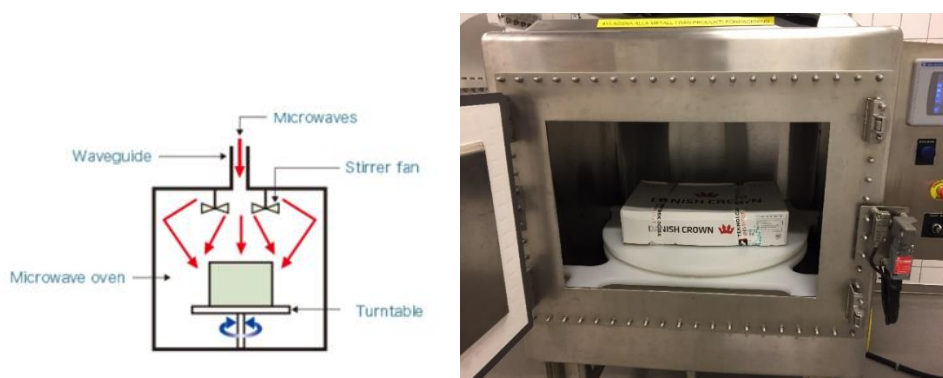
Tempereringsforløbet i mikroovnen er en funktion af procestid og effekt. Jo længere procestid til et givent tempereringsniveau, jo mere skånsom er opvarmningen. Udstyret stilles med en passende effekt bestemt ved screening. Hermed bliver den produktafhængige variable parameter udelukkende procestiden.

Som reference for sparet procestid blev et klassisk tempererings- og optøningsforløb i kabine også gennemført.

Udstyr

Anvendt MW-udstyr Den volumetriske opvarmning blev gennemført i en 75 kW 915 MHz mikrobølgebatchovn med drejeplade fra AMTek. Effekten var dog begrænset af en 63 A forsikring, svarende til at der kunne opnås en effekt på ca. 40 kW. Effektoverførslen til magnetronen kunne justeres trinløst.

I screeningsundersøgelserne blev der fundet et kompromis mellem at hæve energiniveauet i produktet og forekomsten af hotspots. Funktionsprincippet er vist i figur 2.



Figur 2. Mikrobølgeudstyr brugt i forsøget

'Klassisk optøning' Optøningen blev foretaget i kogeskabet Doleschal til kernetemperaturen 2°C med programmet "MTDE optøning":

Step 1: Opvarmning af kabinen til 24°C i 30 minutter (tilsætning af damp)

Step 2: 5 minutter ved 25°C

Step 3: 90 minutter ved 15°C

Step 4: 5°C til 2°C i centrum

Step 5: Køling ved 2°C til næste dag

Fremgangsmåde

Screening Som indledning blev der gennemført en række forsøg, hvor indstillingerne på MW-udstyret blev justeret ved en screening, først med is og vand, derefter med produkter.

Følgende forsøgsrække blev gennemført:

- 1) Screening med is og vand.
- 2) Screening med svinekamme (1660).
- 3) Screening med trimmings (ca. 20% fedt).
- 4) Temperering af svinekamme med MW og efterfølgende optøning i kabine.
- 5) Temperering af trimmings med MW og efterfølgende optøning i kølerum.
- 6) Referenceforsøg vedr. optøning af svinekamme i kabine direkte fra frost.
- 7) Referenceforsøg vedr. temperering og optøning af trimmings i kølerum.

Vand

Screening af tider med vand og is

En mængde vand blev opvarmet fra cirka 13°C ved en indstilling på 8 kW effekt i forskellige tidsintervaller. Den forventede, teoretiske energioverførsel/temperaturstigning (ved 100% effektoptag) blev sammenlignet med den aktuelle målte temperaturforskelle, og derefter blev energitilførslen og dermed virkningsgraden bestemt. Vandet blev omrørt inden en temperaturmåling for at sikre ensartet temperaturniveau.

Tabel 1. Virkningsgrad ved opvarmning af vand

| Mængde vand [kg] | Procestid [min] | Teoretisk tilført energi [kJ] | Målt tilført energi [kJ] | Virkningsgrad % |
|------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------|
| 20,8 | 6 | 2.880 | 2.149 | 75 |
| 20,0 | 6 | 2.880 | 2.070 | 72 |
| 9,2 | 3 | 1.440 | 1.028 | 71 |
| 9,6 | 3 | 1.440 | 1.030 | 72 |

Is

En mængde is ved -25°C blev opvarmet ved en indstilling på 8 kW. Isens starttemperatur blev registreret, og smeltevandets temperatur blev målt, da al isen var smeltet. Derefter blev den tilførte mængde energi beregnet og sammenlignet med den teoretisk tilførte energi beregnet til: tid*effekt-indstilling af udstyret.

Tabel 2. Virkningsgrad ved smeltning af is

| Mængde is [kg] | Procestid [min] | Teoretisk tilført energi [kJ] | Målt tilført energi [kJ] | Virkningsgrad % |
|----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------|
| 16,4 | 26 | 12.480 | 8.969 | 72 |
| 15,6 | 26 | 12.480 | 9.006 | 72 |

Ved opvarmning af vand og is er den gennemsnitlige virkningsgrad bestemt til 72%, hvilket betyder, at ved en indstilling på 8 kW modtager vandet/isen kun 5,8 kW effekt i gennemsnit.

Til sammenligning vil et kogeskab have en virkningsgrad på ca. 60%.

Screening med produkter

Efterfølgende blev der gennemført screening af tempereringstiden for produkterne, hvor der samtidig blev foretaget en visuel vurdering af gråtoning som følge af hotspots (kvalitetsvurdering).

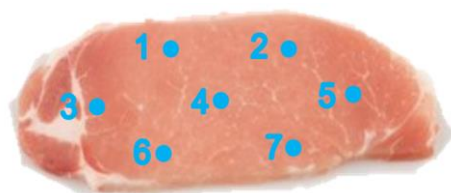
Der blev beregnet en forventet procestid for hver produkttype med udgangspunkt i en overført effekt på 6,5 kW (9 kW-indstilling ved 72% optaget) og en temperering ved tre forskellige energiniveauer, hvor fase-skiftet i produktet var mest dominerende (fra cirka -4°C til -1°C).

Hel muskel,
kam

En karton pr. behandling blev MW-tempereret i en tidsperiode, som svarede til de beregnede energiniveauer (-3,5°C, -2,7°C, -1,0°C). Efter mikroovnsbehandlingen udlignede kartonen med produkter i 30 minutter i kølerum (4°C), før temperaturniveau blev målt ved indstik.

De 7 kamme blev delt på midten, og temperaturmåling blev foretaget med indstikstermometer i kølerum. Derefter blev kammene skåret ud til koteletter af ca. 2 cm tykkelse og fordelt på en plade, så den ene skæreflade på hver kotelet var synlig. Koteletterne blev fotograferet, og synlige hotspots blev registreret på kam og koteletniveau.

Temperatur blev målt i kerne og overflade, figur 3a og 3b, og målt temperatur i tabel 3 er beregnet som gennemsnit af 7 kernemålinger markeret med blå punkter i figur 3a.



Figur 3a. Kernetemperatur



3b. Overfladetemperatur

I fremtidige forsøg bør målt temperaturniveau ske ved udligning i isoleret beholder, da den benyttede målemetode er for upræcis til at bestemme korrekt gennemsnitstemperatur.

Tabel 3. Procesparametre: screening af kam

| Karton | Vægt [kg] | MW tid min:sek. | Tid Sek./kg | Estim. temp. [°C] | Målt temp. [°C] | Hot-spot kamme | Hot-spot kotelet |
|--------|-----------|-----------------|-------------|-------------------|-----------------|----------------|------------------|
| 1 | 20,9 | 5:33 | 14,4 | -3,5 | -2,5 | 0/7 | 0,0 % |
| 2 | 19,7 | 11:00 | 35,5 | -1,0 | +1,8 | 7/7 | 35,4 % |
| 3 | 23,8 | 9:00 | 22,7 | -2,7 | -2,2 | 1/7 | 1,3 % |

Screeningen viste, at forekomsten af hotspots startede ved omkring 22,7 sek./kg produkt ved 9 kW-indstilling for kamme i det pågældende MW-udstyr.

Energitilførslen svarede i gennemsnit til opvarmning fra -25°C til -2,7°C. Hotspots forekom både i centrum af kammene og i overfladen, og som udgangspunkt var det den første og den sidste kam (1 og 7) i en karton, som blev angrebet først, se også figur 4a, som viser hotspots i en kam fra karton 2. Figur 4b viser eksempel på intra hotspots, som først erkendes ved slicening.

Hotspots



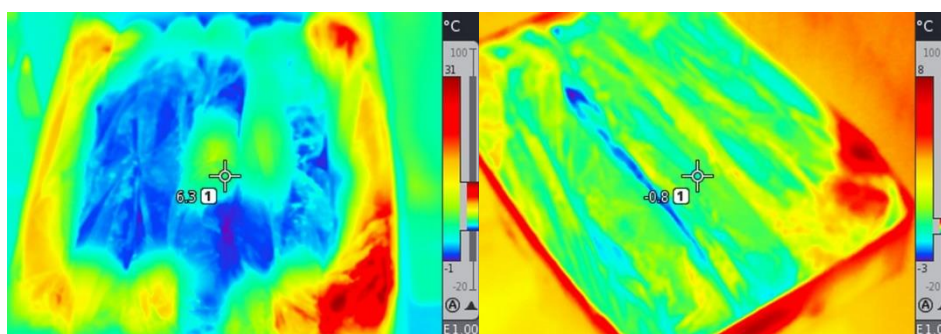
Figur 4a. Eksempler på hotspots i kam, som blev helt optøet



4b. Eksempel på intra hotspots, kan ikke erkendes udefra

IR-kamera

Temperaturmålinger af våde og uensartede overflader med IR-kameraer er behæftet med en vis usikkerhed, alligevel gav disse en god grafisk indikation af temperaturfordelingen i produktet, figur 5a og 5b.



Figur 5a og 5b. IR-billeder af overfladen efter MW-behandling. (tv. karton 2 og th. karton 3 efter MW-behandling) NB: forskellig farveskala på hvert billede.

IR-billederne viste, at hjørnerne i en karton blev angrebet mere intenst af mikrobølgerne end centrum, figur 5a og 5b. Dette skyldes formentlig, at refleksion af bølgerne fra kammerets vægge fanger produkternes ydre parallelle flader.

Trimnings

En karton pr. behandling blev MW-tempereret i en tidsperiode, som svarede til de beregnede energiniveauer (-2,2°C, -1,4°C, -0,4°C). Efter mikrovnsbehandlingen udlignede kartonen med produkter i 30 minutter i kølerum (4°C), før temperaturniveau blev målt ved indstik.

Der blev taget IR-billeder, blokken af trimmings blev delt i 8 stykker, og temperaturmåling blev foretaget i kølerum. Den målte gennemsnitstemperatur er baseret på 8 indstiksmålinger jævnt fordelt midt i trimmingsblokken.

Snitfladerne i blokken blev fotograferet til dokumentation af hotspots.

Tabel 5. Screening af trimmings

| Kar- ton | Produkt- vægt [kg] | MW tid [min:sek.] | Tid/kg pro- dukt [sek./kg] | Beregnet temp. [°C] | Målt temp. [°C] |
|-------------|--------------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 26,7 | 11:00 | 24,7 | -2,2 | -0,5 |
| 2 | 26,6 | 13:00 | 29,3 | -1,4 | -0,5 |
| 3 | 26,7 | 15:00 | 33,7 | -0,4 | +1,5 |

I fremtidige forsøg bør målt temperaturniveau ske ved udligning i isoleret beholder, da den benyttede målemetode er for upræcis til at bestemme korrekt gennemsnitstemperatur.

Overfladebilleder med hotspots for de benyttede indstillinger er vist i figur 6.



Figur 6. Fra venstre: karton 1, karton 2, karton 3. Alle kort efter MW-behandling.

Behandlingen på 11 minutter (24,1 sek./kg) var et optimalt kompromis mellem energitilvækst og forekomst af hotspots. Det blev vurderet, at karton 2 temperaturmæssigt var klar til pølseproduktion, men ikke til hakkekød. Niveaue af hotspots var acceptabelt til pølseproduktion i kardon 2. I kardon 3 var niveaue for højt, og det blev bedømt som "ødelagt". Hotspots forekom udelukkende i overfladen af produkterne, modsat helmuskelprodukter som kamme.

Kamforsøg: sammenligning af 2 optøningsrutiner

*Fremgangs-
måde*

Der blev gennemført MW-temperering af 3 kartoner med 1660 kamme. Umiddelbart efter MW-behandling blev de lagt i optøningskabine på tråd-racks efter denne rutine:

1. En kardon ad gangen blev udtaget fra frost og behandlet i MW-udstyr. (til temperatur bestemt ved screening).
2. Efter MW blev kammene flyttet til optøningskabine, hvor de blev fordelt på tråd-racks. Indstiksføleren til styring blev sat i den største kam. I én gennemsnitlig kam fra hver kardon blev der sat temperatur-logger.
3. Optøning i kabine blev startet, da alle kamme var klar.
4. Når temperatur i styringskam var 2°C, blev kammene taget ud.
5. Kammene blev taget ud af wrap og vejjet (wrap gemmes/vejes).
6. Kammene blev skåret ud og bedømt for hotspots og farve.

I optøningskabinen blev der anvendt en reduceret udgave af det fuldstændige program:

1. 90 minutter ved 15°C.
2. 5°C kammertemperatur, indtil 2°C blev registreret i kernen.
3. Køling ved 2°C, indtil produkt blev udtaget.

Ved screening af kamme blev det bestemt, at hotspots begyndte at blive dannet efter cirka 23 sekunder per kg produkt ved en indstilling på 9 kW. Denne værdi blev derfor benyttet for at "gå til grænsen" og maksimere den volumetriske energioverførsel ved MW-temperering og minimere kvalitetsforringelser. Den beregnede gennemsnitstemperatur blev ikke eftervist ved måling, da produktet blev lagt i kabine til optøning direkte efter MW-temperering.

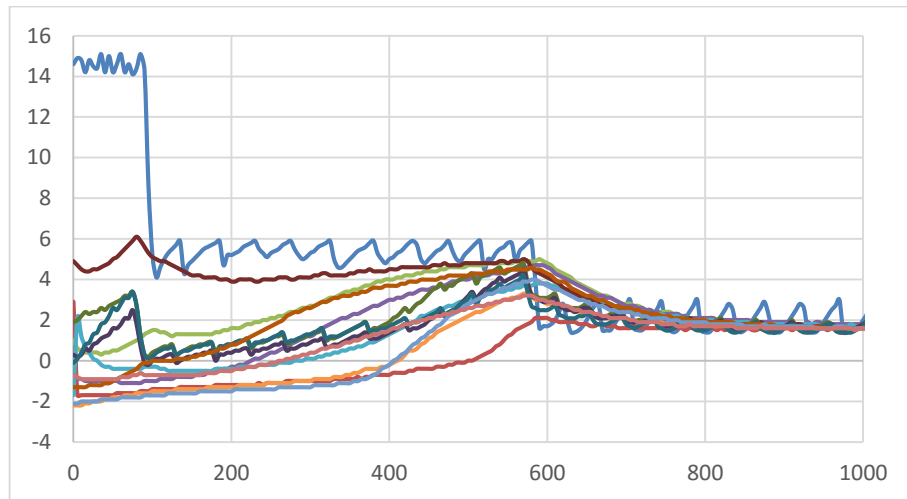
Tabel 6. Vægt og tid i MW pr. karton

| Karton | Produktvægt [kg] | MW tid [min:sek.] | Beregnet temp. [°C] |
|--------|------------------|-------------------|---------------------|
| 4 | 21,6 | 8:14 | -2,7°C |
| 5 | 19,5 | 7:26 | -2,7°C |
| 6 | 21,7 | 8:39 | -2,7°C |



Figur 7. Kamme fra temperering i MW, klar til kontrolleret optøning i kabine.

Efter MW-behandlingen var det muligt at indføre indstiksfølere, uden at bore et hul først.

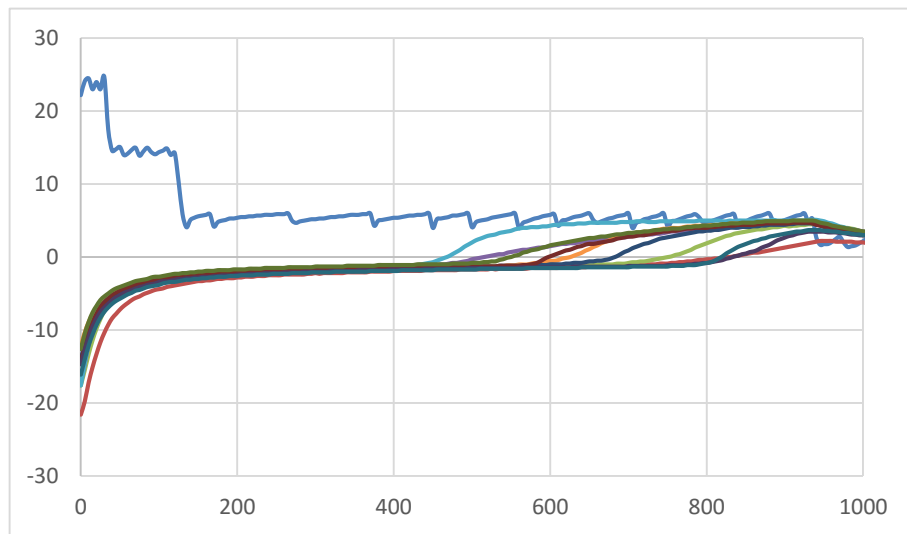


Første kernetemperatur 2°C: Sidste kernetemperatur 2°C:
 4 timer 0 min 9 timer 45 min

Figur 8. Svinekam – Temperaturforløb i kabine med MW

Optøning i kabine

Ved optøning uden brug af MW-udstyr startede optøningsprogrammet med en 30 minutters periode, hvor temperaturen var 25°C.

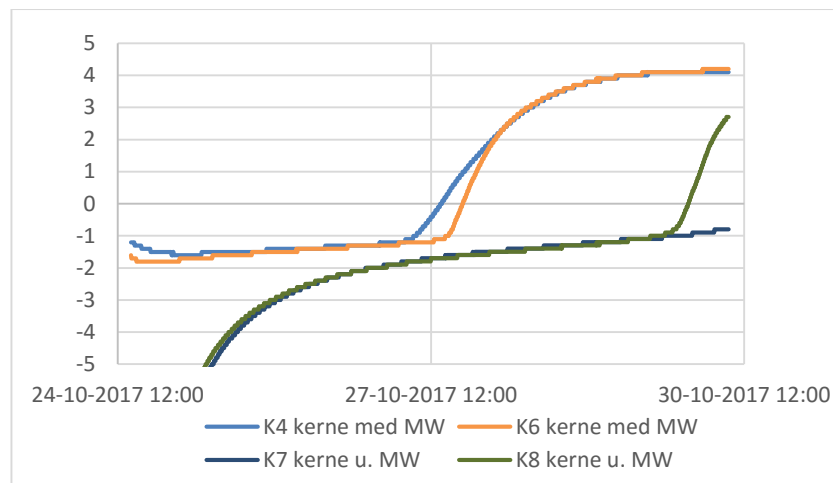


Første kernetemperatur 2°C: Sidste kernetemperatur 2°C:
 8 timer 10 min 15 timer 35 min

Figur 9. Svinekam – Temperaturforløb i kabine uden MW.

Trimningsforsøg

Der blev gennemført MW-temperering af 2 kartoner med trimmings. De blev placeret i kølerum umiddelbart efter, og kernetemperaturen blev logget under den følgende optøning. To kartoner blev placeret direkte i kølerum som reference.



Figur 10. Trimmings – temperaturforløb i kølerum

Selvom vægten af kasserne var ens, 26,7 kg, og fedtprocenten var angivet til 30% i trimmings, så var optøningsforløbet ikke ens for den samme behandling. Fuldstændig optøning af trimmings efter MW tog stadig 3-4 døgn.

Tabel 7. Timer til optøning

| Kartonnummer | Timer til -0,8°C |
|-------------------------------|------------------|
| Karton 4 (MW) | 67 timer |
| Karton 6 (MW) | 74 timer |
| Karton 7 | 126 timer |
| Karton 8 | 136 timer |
| Gns. reduktion vha. MW | 54% |

Efter temperering og optøning blev produkterne tjekket for hotspots, og de angrebne stykker blev sorteret fra (se figur 11a og 11b)



Figur 11a og 11b. Hotspots i trimmings.

Forekomsten af hotspots var meget lille ved en temperering af trimmings fra -25,0°C til -1,5°C ved 6,5 kW.

Diskussion

Indstillingerne angivet i denne undersøgelse er kun retningsgivende for en tempereringsproces med MW, da der er stor forskel på forskellige mikroovne og batch-/båndprocesser. Alle installationer kræver test og analyser, før den korrekte indstilling er fundet til en given produktion.

Hele muskler Det er muligt at halvere optøningstiden for kamme ved at kombinere optøning i kabine med MW-temperering. Det vurderes, at hvis MW-tempereringsniveauet reduceres en smule (sammenlignet med niveauet anvendt i denne undersøgelse), vil tempereringsprocessen kunne forløbe uden hotspots og med næsten ens tempereringsniveau i produkterne.

trimmings Karton med trimmings kan MW-tempereres direkte til et energiniveau, hvor det vurderes klar til hakkeproces i forbindelse med fremstilling af pølser. Hvis der ønskes en fuld optøning, hvor kernen er over $-0,8^{\circ}\text{C}$, vil et ophold i kølerum skulle indgå i procesrutinen. MW-temperering kan reducere holdetiden i kølerum med op mod 50%.

Produkter, som tænkes optøet med MW, skal være pakket tæt, og kassen skal så vidt muligt ikke være tykkere/højere end 15 cm.