



Notat

Grøn, kontinuert og hurtig køling

Metoder til nedkøling af varmebehandlede kødprodukter

15. marts 2023
Proj.nr. 2010413
Version 1
Init. LRK/mt

Sammendrag

Effektiviteten og ressourceforbruget af de køleprocesser, der anvendes ved forædlingsprocesser i kødindustrien, er essentielle for sikkerhed, holdbarhed, produktkvalitet og miljøbelastning. De nuværende anvendte teknologier, som oftest baseres på overrisling med koldt vand efterfulgt af køling i kølerum, kræver dog meget vand samt energi og er desuden tidskrævende. For produkter med stor diameter er det desuden svært at opnå tilstrækkelig hurtig køling med de nuværende køleprocesser. I dette notat er den traditionelle nedkølingsproces beskrevet, og der er efterfølgende beskrevet en række alternative køleteknologier, der kan have industrielt potentiale til nedkøling af varmebehandlede kødprodukter til erstatning for den traditionelle køleproces.

Immersionenkøling er en effektiv og hurtig måde at nedkøle varme kødprodukter på. Imidlertid kræver teknologien, at produktet er tætsluttende pakket, og det kan være udfordrende at fjerne beskyttelsen efter køleprocessen. En løsning på dette kan være anvendelse af kontinuerede foldebånd, som gør emballering overflødig. Anvendelse af ultralyd ved immersionenkøling kan forbedre kølehastigheden yderligere.

Kryogen køling anvender kølemidlet direkte på fødevareren og er meget effektiv. Teknologien anvendes i dag til små produkter som burgere, pølser og færdigretter. Procesudstyr til kryogen nedkøling er generelt billigt i indkøb, men er dyrt i drift.

Ice-slurry har mange fordele i forhold til traditionelle former for isafkøling, herunder hurtigere afkølingshastighed, mere effektiv varmeoverførsel, og ice-slurry er desuden pumpbar. Ice-slurry er udviklet til fiskeindustrien, men der er også udviklet et specifikt system til køling af slagtevarme kyllingekroppe, som sandsynligvis vil kunne tilpasses kødprodukter.

Vakuumbekøling er en effektiv metode, men resulterer i et højt kølesvind. Immersionsvakuumbekøling er en nyere variant af vakuumbekøling, der viser lovende resultater i videnskabelige studier, men der er endnu ingen erfaring med industrielt udstyr. Vakuumbekøling anvendes i dag i bageindustrien, men ikke i kødindustrien.

Nedkølingsprincipper baseret på en kombination af magnetiske felter og elektromagnetiske bølger kombineret med traditionel køling er tænkt som erstatning for traditionel indfrysningsteknologi og siges at resultere i bedre

kvalitetsbevarelse, mindre optøningssvind og et lavere energiforbrug. Elektromagnetiske bølger og magnetfelter kan påvirke iskrystaldannelsen, men da dette sjældent forekommer og ikke anses for at være et problem ved nedkøling af varmebehandlede kødprodukter, er princippet ikke relevant til dette formål.

Baggrund og formål

Effektiviteten og ressourceforbruget af de køleprocesser, der anvendes ved forædlingsprocesser i kødindustrien, er essentielle for sikkerhed, holdbarhed, produktkvalitet og miljøbelastning. De nuværende anvendte teknologier, som oftest baseres på overrissing med koldt vand efterfulgt af køling i kølerum, kræver dog meget vand samt energi og er desuden tidskrævende. For produkter med stor diameter er det desuden svært at opnå tilstrækkelig hurtig køling med de nuværende køleprocesser, således at lovgivningskravet om et temperaturfald fra 65°C til 10°C opnås inden for 3 timer.

I dette notat er der beskrevet en række alternative køleteknologier, der kan have industrielt potentiale til nedkøling af varmebehandlede kødprodukter til erstatning for den traditionelle køleproces. Der er tillige angivet en vurdering af fordele og ulemper ved de enkelte alternative teknologier.

Køling af kødprodukter

Køling

Der er tre fundamentale mekanismer, hvorved varme kan udveksles mellem forskellige medier, og dermed hvorved et varmt kødprodukt kan køles: varmeledning, konvektion og varmestråling. Varmestråling er ikke relevant ved nedkøling af kødprodukter og vil ikke blive beskrevet yderligere [1, 2].

Ledning

Den første fundamentale mekanisme for varmeoverførsel er varmeledning. Molekylerne i faste stoffer, væsker eller gasser interagerer med hinanden, og ved denne interaktion overfører molekylet med det højeste energiniveau noget af sin energi til molekylet med det lavere energiniveau. Energiniveauerne er angivet ved temperatur, hvor materialer ved højere temperaturer har molekyler med relativt højere energiniveauer og omvendt. Energi, i form af varme, strømmer derfor gennem et materiale, eller fra et materiale til et andet, fra områder med højere temperatur til områder med lavere temperatur.

Konvektion

Bevægelse af luft/gas eller væske over en overflade er den anden grundlæggende mekanisme for varmeoverførsel, kendt som konvektion. Konvektion er den mest almindelige praktiske måde, hvorpå varme overføres fra et fast stof til en væske eller en gas (eller omvendt). Der er to former for konvektion – tvungen og naturlig.

Tvungen konvektion opstår, når væsken eller gassen bevæges af en ekstern kraft. Eksempler på tvungen konvektion er en ventilator, der blæser luft hen over en varm overflade eller en pumpe, der frembringer væskecirkulation i et kølekar.

Naturlig konvektion opstår som et resultat af selve varmeoverførselsprocessen. Hvis en varm overflade opvarmer luft (eller en væske), vil den varme luft

stige til vejrs, og omgivende kold luft vil flyde ind fra siderne for at erstatte den. Dette frembringer luftbevægelse omkring den varme overflade, uden der påføres nogen ekstern kraft.

Kølesystem I fødevarerindustrien anvendes forskellige typer af kølesystemer afhængig af de specifikke applikationer og behov, men fundamentalt set kan de opdeles i to typer, hhv. direkte kølesystemer og indirekte kølesystemer [2].

Direkte kølesystemer I direkte kølesystemer anvendes en direkte kontakt mellem fødevarer og kølemidlet for at fjerne varmen fra fødevarer. Kølemidlet kan være på væskeform, typisk vand eller nitrogen, eller fast form, typisk flage-is eller tør-is. Køleeffekten opnås, ved at varme fra kødproduktet overføres til kølemidlet, eller anvendes til en faseomdannelse af kølemidlet fra flydende form til gasform eller fra fast form til flydende eller gasform.

Indirekte kølesystemer Grundidéen i et indirekte kølesystem er at lade kølemidlet faseomdanne i et lukket system i stedet for direkte på fødevarer, hvilket giver en række fordele. Det mest udbredte indirekte kølesystem kaldes også "kompressionskølesystem". Dette skyldes, at systemet bruger en mekanisk kompressor til at øge trykket og temperaturen på kølemidlet, før det sendes til en kondensator, hvor varmen fjernes fra kølemidlet. Derefter reducerer en ekspansionsventil trykket og temperaturen på kølemidlet, inden det sendes til en fordampningsenhed, hvor det absorberer varmen fra det, der skal nedkøles, fx luft og luge eller til at omdanne vand til is. Denne proces gentages kontinuerligt, så længe kølesystemet er i drift. Kompressionskølesystemer anvendes i en lang række applikationer, lige fra hjemmekøleskabe til store industrielle kølesystemer. Indirekte kølesystemer er ofte mere energieffektive og hygiejniske end direkte kølesystemer, da de holder fødevarer adskilt fra kølemidlet og genbruger dette.

Afkølingsprocessen For at afkøle et kødprodukt skal temperaturen udenfor produktet reduceres til under produktets aktuelle overfladetemperatur. Dette vil resultere i, at varme strømmer væk fra overfladen af produktet ved ledning og konvektion, hvilket får overfladens temperatur til at falde. Når overfladetemperaturen er faldet til under temperaturen i de dybere dele af produktet, vil disse dele også begynde at afkøle ved ledning af energi til overfladen. Under nedkøling vil der derfor udvikles en temperaturprofil, hvor dybere dele af produktet er varme, og hvor temperaturen gradvist aftager mod overfladen. Når centrumtemperaturen er lig med overfladetemperaturen, siges produktet at være temperaturudlignet, og når denne temperatur er lig den ønskede sluttemperatur (typisk $<5^{\circ}\text{C}$), siges produktet at være færdigkølet.

Traditionel køling af kødprodukter I dag sker nedkølingen typisk i direkte forlængelse af kogeprocessen ved at overbruse de varme produkter med vand i samme kabinet/kogeskab, hvor varmebehandlingen er foretaget. Når den ønskede temperatur er opnået, overføres produkterne til kølerum for yderligere nedkøling til ønsket sluttemperatur. Hvis sluttemperaturen er opnået via kølingen i kogeskabet, kan produkterne føres direkte til slicening, pakning eller yderligere behandling.

Nedkølingsproceduren er stærkt afhængig af specielt produktets dimensioner og udføres tillige forskelligt hos de enkelte producenter. Det er derfor ikke muligt at beskrive en nedkølingsprocedure, der omfatter alle produkttyper. Nedenfor er angivet et eksempel på en traditionel nedkøling af toppings-skinke med en længde på 100 cm og en diameter på 11 cm.

Produktet vil have en temperatur på 75°C ved start af køleprocessen. Til den indledende køling anvendes overrisling med vand ved 11°C i omkring 1 time i kogeskab, hvorved der opnås en kernetemperatur i produktet på ca. 20°C. Herefter overføres produkterne til kølerum ved 4°C og køles ned til en sluttemperatur på 5°C. Vandforbruget ved denne proces er ca. 3,2 m³/ton, og energiforbruget ca. 5,6 kWh/ton. Den samlede nedkølingstid vil være knap 10 timer [3].

Alternative teknologier

Immersionenkøling

Immersionenkøling udføres ved at nedsænke det varme kødprodukt i en flydende kølevæske, fx vand, saltlage eller alkoholer. Herved overføres produktets varme til væsken, hvilket resulterer i en nedkøling af produktet. Ved at anvende tvungen konvektion opnås varmetransmissionstal tæt på det maksimalt opnåelige, hvilket resulterer i en meget effektiv og hurtig nedkøling.

Hastigheden, hvormed der kan køles, er afhængig af kølemidlets temperatur samt flowhastigheden af kølemidlet. Generelt gælder det, at jo lavere temperatur, jo hurtigere køling samt jo højere flowhastighed, jo hurtigere køling. Ved anvendelse af saltlage eller alkohollage, fx glykol, kan der opnås en lavere temperatur sammenlignet med vand og derved en hurtigere køleproces.

Immersionenkøling med glykol er tidligere undersøgt i detaljer på Teknologisk Institut [4]. Teknologien har vist et stort potentiale for nedkøling af forædlede kødprodukter. Ved en glykoltemperatur på maks. -5°C kan der opnås en tilfredsstillende køling, hvor ønsket om et temperaturfald fra 65°C til 10°C på under 3 timer kan overholdes. Store produkter med en diameter på op til 11 cm kan køles fra 75°C til 5°C på under 2t 56min ved immersionenkøling med glykol ved -16°C.

Teknologien fordrer, at produktet har en tætsluttende folie, der sikrer mod kontaminering af produktoverfladen og for at undgå luftlommer, der reducerer den aktive kontaktflade. Dette kan løses, fx ved at varme kødprodukter pakkes i krympefilm, inden de nedsænkes i kølevæsken. Efter køleprocessen skal lagen fjernes fra overfladen, hvilket kan gøres med vand efterfulgt af lufttørring. Saltlage er stærkt korrosiv og derved meget belastende for køleanlægget i forhold til fx glykol.

Mere information om immersionenkøling kan findes i [3, 4, 5].

Immersionenkøling med foldebånd

En ulempe ved immersionenkøling er, at produktet skal emballeres eller på anden måde beskyttes, inden køleprocessen kan påbegyndes, og ved mange typer af produkter skal denne beskyttelse fjernes igen før fx slicening. Dette

problem kan løses ved at nedsænke produkterne i et kontinuert foldebånd, der omslutter og beskytter produktet under køleprocessen, og som frigiver produktet igen efter endt køling. Foldebåndet kører i en uendelig sløjfe og forbruges derved ikke. Fordelen ved dette princip er, at den efterfølgende skylleproces kan udelades, og at der ikke er forbrug af midlertidigt indpakningsmateriale.

Teknologien er endnu ikke kommercialiseret, men mere information kan findes her [3].

Ultralydsassisteret immersionskøling

Immersionskølingens varmetransmissionstal kan forbedres yderligere med den assisterende teknologi ultralyd. I indledende laboratorieforsøg på Teknologisk Institut [5] er varmetransmissionstallet blevet forbedret med ca. 30% ved lydbølgens udbredelse fra kun den ene side. Ved at placere ultralydshorn på to sider er det teoretisk muligt at kunne forøge varmetransmissionstallet med mere end 50%. Energiforbruget øges derved, men formentligt kun med få procent og forventes at være overskygget helt af den reducerede køletid, der kan opnås. Teknologien har kun været undersøgt under laboratorieforhold, og resultater er ikke publiceret.

En bonuseffekt ved at anvende ultralyd er, at det til en vis grad inhiberer mikrobiel vækst [6], hvilket muligvis kan være relevant ved nedkøling af kødprodukter, der ikke er emballeret.

Kryogen køling

Kryogen køling bruger kølemidler, såsom flydende nitrogen eller fast kuldioxid, direkte på fødevarer. Princippet ved nedkølingen svarer til vandbaseret fordampningskøling: køleeffekten opnås ved at koge kølemedlet af, dvs. varme fra kødproduktet anvendes til en faseomdannelse af kølemedlet fra flydende eller fast form til gasform. Den væsentligste forskel i forhold til vand er den temperatur, der kræves for at koge, hvilken er betydeligt lavere for kryogene kølemidler. På grund af meget lave driftstemperaturer og høje varmeoverførselskoefficienter mellem produkt og medium er afkølingshastigheder i kryogeniske systemer ofte væsentligt højere end i andre kølesystemer [1, 2, 7].

Teknologien anvendes hovedsageligt til små produkter som burgere, pølser og færdigretter. Den mest almindelige metode er ved direkte at sprøjte flydende nitrogen på et fødevarerprodukt, mens det transporteres gennem en isoleret tunnel. Procesudstyr til kryogen nedkøling er generelt billigt i indkøb, men dyrt i drift.

Spray med ice-slurry

Ice-slurry er en tyktflydende væske bestående af meget små ispartikler. Princippet ved nedkøling med is svarer til den, der gælder for kryogen køling; køleeffekten opnås ved, at varme fra kødproduktet anvendes til en faseomdannelse af is til flydende vand. Kølehastigheden ved anvendelse af is er omvendt proportional med ispartikelstørrelsen, dvs. jo mindre ispartikler, jo højere kølehastighed. De sfæriske krystaller i ispartiklerne har gode strømningsegenskaber, som giver mulighed for let cirkulation gennem konventionelle pumper og rør. Størrelsen af hver iskrystal i ice-slurry kan være tusinder af

gange mindre end et stykke is i fx flageis, og den lille ispartikelstørrelse resulterer i en mere effektiv varmeoverførsel. De små krystaller kan flyde ind i sprækker og giver større overfladekontakt og dermed meget hurtigere afkølingshastigheder end andre traditionelle former for isafkøling (flageis, blokis m.m.).

Ifølge en af producenterne af teknologien [8] har ice-slurry fra 10 til 40 gange mere kølekapacitet end vand ved 0°C. For eksempel kan 1 liter 20% ice-slurry erstatte over 20 liter afkølet vand til nedkøling af fisk.

Processen er primært udviklet til fiskeindustrien, hvor der er flere leverandører på markedet [9, 10]. Virksomheden *Thor Ice Chilling Solutions* [8] har i samarbejde med fjerkræindustrien udviklet et specifikt system til køling af slagtevarme kyllingekroppe. Ice-slurry sprøjtes på de varme slagtekroppe med en patenteret løsning, der benævnes IceGuns, og kombineres med traditionel luftkøling. Løsningen skulle give en mere effektiv og hurtigere køling, resulterende i et højere udbytte og længere holdbarhed.

Vakuumkøling

Ved at placere produkter i et forseglede kammer og sætte vakuum på nedsættes kogepunktet for vand. Vands kogepunkt er 100°C ved normalt atmosfærisk tryk (100.325 Pa), og ved at sænke trykket til fx 611 Pa sænkes vands kogepunkt til 0°C. Princippet ved vakuumkøling er meget lig kryogen og vandbaseret fordampningskøling; køleeffekten opnås ved at koge vandet af, dvs. varme fra kødproduktet anvendes til en faseomdannelse af vand fra flydende form til gasform, og der kan opnås hurtige afkølingshastigheder. Den væsentligste forskel i forhold til traditionel vandbaseret fordampningskøling er, at det er produktets 'eget' vand, der fordampes, hvorfor kølesvindet er meget højt. For at undgå fryseskader anvendes normalt ikke lavere tryk end 650 Pa, og generelt opnås en 5°C reduktion i produkttemperaturen for hver 1% vand, der fordampes [1, 11].

Da dette er en batchproces, kræver den større produktionsfleksibilitet og har en høj kapitalomkostning. Desuden, hvis trykket reduceres for hurtigt, kan intern kogning beskadige produktet. Ved vakuumkøling er fødevarer uemballeret, for at fordampningen kan foregå. Metoden er ekstremt hurtig, men resulterer også i et ekstremt højt og uønsket kølesvind. Metoden anvendes i dag industrielt i blandt andet bageindustrien, men ikke i kødindustrien [4].

Immersionsvakuumkøling (IVC)

IVC er vakuumkøling af en varm fødevarer, der køles nedsænket i en del af sin egen kogevæske. IVC er baseret på en kombination af fordampning, varmeledning og konvektion. Metoder er endnu kun beskrevet på baggrund af videnskabelige studier i en lille skala. Studierne er generelt positive overfor køling af varmebehandlede kødprodukter. Metoden blev afprøvet på Teknologisk Institut i forbindelse med et EU-projekt (COOLMEAT). Studierne indikerer lavere kølesvind end ved traditionel vakuumkøling, dog stadig i omegnen af 4-5%. Der er dog ingen erfaring med udstyr i industriel skala, og intet industrielt udstyr er på markedet [4].

Magnetisk køling

Nogle magnetiske materialer, som jern og nikkel med flere, besidder såkaldte 'magnetokaloriske egenskaber', hvilket betyder, at de kan absorbere varme fra et omgivende miljø og afgive varmen, når de udsættes for et magnetisk felt.

Teknikken omkring magnetisk køling udnytter det faktum, at når et magnetisk materiale magnetiseres, vil der udvikles varme som et biprodukt af et fald i entropien. Entropiens grundsætning siger, at der altid vil være en konstant mængde orden/uorden i et stof. Når magneten "ordner" stoffet, skal den af med den overskydende uorden – og det bliver til varme. Modsat bliver stoffet koldt, når magnetfeltet fjernes igen, og der bliver mere "uorden". Dette kan udnyttes til køling. Varmen overføres til en væske, der pumpes frem og tilbage over det magnetiske stof inde i en cylinder. Den ende, der bliver kold, vil befinde sig inde i fx et køleskab, og den ende, der bliver varm, vil være udenfor [12].

Kølemaskiner baseret på magnetisk køling er at betragte som et indirekte kølesystem, og den skiftevis magnetisering og afmagnetisering af det magnetiske stof kan sammenlignes med kompression og ekspansion i et traditionelt kompressionskølesystem med flydende kølemidler. I modsætning til det traditionelle system tabes der dog stort set ikke noget energi ved det magnetiske system, hvilket gør det meget attraktivt [13].

Magnetisk køling er endnu ikke udviklet til kommercielt brug, og når den bliver det, vil det være i form af indirekte kølesystemer, der muligvis vil kunne erstatte de nuværende systemer baseret på kompression/ekspansionskøling med flydende kølemidler. Dette vil formentligt ikke give nye muligheder for nedkøling af varmebehandlede kødprodukter, men vil kunne generere 'kulden', der anvendes til køling, mere energieffektivt.

Magnetisk & elektro-magnetisk assisteret køling

Flere virksomheder tilbyder en nyere nedkølingsteknologi baseret på en kombination af flere teknologier. De nyere kombinationsteknologier er tiltænkt som en erstatning for traditionel indfrysningsteknologi og resulterer angiveligt i bedre kvalitetsbevarelse under fryse-/kølelagring, mindre optøningssvind og et lavere energiforbrug. Virksomhederne oplyser ikke meget om den bagvedliggende teknologi, men det hollandsk baserede RMF [14] angiver, at deres system er baseret på en kombination af en traditionel køleproces kombineret med et magnetfelt og elektromagnetisk stråling (radiobølger). Det japansk baserede Kuraban [15] tilbyder lignende løsninger, men det er uklart, hvilken teknologi det baseres på.

Det er beskrevet i den videnskabelige litteratur, at både elektromagnetiske bølger og magnetfelter kan påvirke faseomdannelsen af vand til is ved at 'forstyrre' krystaldannelsesprocessen, således at denne sker ved en lavere temperatur, og ved at krystallerne bliver mindre og mere jævnt fordelt i vævet [16, 17]. Det kan have nogle positive effekter på specielt fersk kød, hvis dette kan opbevares ved en temperatur under kødets normale frysepunkt, uden at vandet fryser ud. Dette kan muligvis resultere i en længere holdbarhed, uden der opstår de kvalitetsforringelser, som ses ved normal fryselagring.

Idet iskrystaldannelse under nedkøling af varmebehandlede kødprodukter sjældent sker, og hvis det sker, ikke anses for at være et problem, vurderes denne teknologi ikke til at være relevant til formålet.

Konklusion

Immersionsskøling er en effektiv og hurtig måde at nedkøle varme kødprodukter på. Imidlertid kræver teknologien, at produktet er tætsluttende pakket, og det kan være udfordrende at fjerne beskyttelsen efter køleprocessen. En løsning på dette kan være anvendelse af kontinuerede foldebånd, som gør emballering overflødig. Anvendelse af ultralyd ved immersionsskøling kan forbedre kølehastigheden yderligere.

Kryogen køling bruger kølemidler direkte på fødevareren og er meget effektiv. Teknologien anvendes i dag til små produkter som burgere, pølser og færdigretter. Procesudstyr til kryogen nedkøling er generelt billigt i indkøb, men er dyrt i drift.

Ice-slurry har mange fordele i forhold til traditionelle former for isafkøling, herunder hurtigere afkølingshastighed, mere effektiv varmeoverførsel og er desuden pumpbar. Ice-slurry er udviklet til fiskeindustrien, men der er også udviklet et specifikt system til køling af slagtevarme kyllingekroppe, som sandsynligvis vil kunne tilpasses kødprodukter.

Vakuumskøling er en effektiv metode, men resulterer i et højt kølesvind. Immersionsvakuumskøling er en nyere variant af vakuumskøling, der viser lovende resultater i videnskabelige studier, men der er endnu ingen erfaring med industrielt udstyr. Vakuumskøling anvendes i dag i bageindustrien, men ikke i kødindustrien.

Nyere nedkølingsteknologier baseret på en kombination af magnetiske felter og elektromagnetiske bølger kombineret med traditionel køling er tænkt som erstatning for traditionel indfrysningsteknologi og siges at resultere i bedre kvalitetsbevarelse, mindre optøningsvind og et lavere energiforbrug. Elektromagnetiske bølger og magnetfelter kan påvirke iskrystaldannelsen, men da dette sjældent sker og ikke anses for at være et problem ved nedkøling af varmebehandlede kødprodukter, er teknologien ikke relevant til dette formål.

Referencer

1. James & James. (2014). Refrigeration and Freezing Technology - Equipment. I Encyclopedia of Meat Sciences, Vol 3, s184-190.
2. Lowatt. (2014). Refrigeration and Freezing Technology - Principles. I Encyclopedia of Meat Sciences, Vol 3, s196-201.
3. Kilic & Nielsen. (2021). Anlægsbetragtninger ift. immersionsskøling i glykol af kødprodukter kort efter kogeprocessen, Proj.nr. 2007974. Internt notat.
4. Hofer (A). (2020). Hurtig nedkøling af forædlede kødprodukter – Resultater fra forsøg med glykol. Proj.nr. 2007974. Internt notat

5. UB & PBOP. (2014). Kortlægning af nye efterkøleprocesser, Proj.nr. 2003026-14. Internt notat.
6. Huan, Mei & Xie. (2022). New ultrasonic assisted technology of freezing, cooling and thawing in solid food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106185.
7. Hofer (B). (2020). Hurtig nedkøling af forædlede kødprodukter – Intern. Proj.nr. 2007974. Internt notat
8. Thor Ice Chilling Solutions: <http://thorice.is>
9. KAAP: <https://kapp.is>
10. SARAMAC: <https://saramac.co.jp>
11. Feng & Li. (2015). Immersion vacuum-cooling as a novel technique for cooling meat products: Research advances and current state-of-the-art. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol 14, s785-795.
12. Electronic Supply. (2023). Milepæl indenfor magnetisk køling. https://www.electronic-supply.dk/article/view/16599/milepael_indenfor_magnetisk_koling
13. Tassou, Lewis, Ge, Hadawey & Chaer. (2010). A review of emerging technologies for food refrigeration applications. *Applied Thermal Engineering*, vol 30, s263-276.
14. RMF: <https://www.rmf-europe.eu>
15. KURABAN: <https://www.mars-company.jp/kuraban.html>
16. Hu, Zhang, Liu, Mujumdar & Bai. (2022). Novel synergistic freezing methods and technologies for enhanced food product quality: A critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, vol. 21(2), s1979-2001.
17. Jiang, Zhang & Mujumdar. (2022). Application of physical field-assisted freezing and thawing to mitigate damage to frozen food. *Journal of the science of food and agriculture*, Wiley Online Library, DOI 10.1002/jsfa.12260.