



WHITE PAPER

Ijzig koud: de juiste vriestechnologie voor uw productielijn

Dr Chris Kennedy

Independent consultant in the food industry,
Member of the Institute of Refrigeration,
The Institute of Food Science and Technology
and the Institute of Physics

AIR
PRODUCTS 

2. Vriestechologieën vergelijken

1. Inleiding

Koelen en invriezen vormen een essentieel onderdeel van talloze processen in de productie en verdeling van voedingsmiddelen. In de voedingsindustrie stijgt de vraag naar diepgevroren en gekoelde voedingsmiddelen constant, waardoor meer en meer fabrikanten hun koel- en invrieslijnen willen verbeteren of uitbreiden.

Maar dat is niet zo eenvoudig als het lijkt. De invriestechnologie ontwikkelt zich constant, waardoor klassieke mechanische vriezers, die nog steeds het meest worden gebruikt, nu naast nieuwe technologieën bestaan die naar verluidt een aantal voordelen bieden t.a.v. hun voorgangers.

Uit welke vriessystemen kunnen voedselverwerkingsbedrijven momenteel kiezen? Wat zijn de voor- en nadelen en hoe kunnen fabrikanten de beste oplossing voor hun bedrijf kiezen?

Er bestaan drie categorieën vriezers:

- Mechanische vriezers werken met een circulerend koelmiddel om de temperatuur te verlagen door de warmte van de voedingsmiddelen te vervangen door lucht,
- Cryogene vriezers verlagen de temperatuur door vloeibare stikstof (-196°C) of koolstofdioxide rechtstreeks toe te passen op de voedingsmiddelen,
- Botsingsvriezers richten luchtstralen met hoge snelheid op de voedingsmiddelen.

Binnen deze categorieën zijn diverse uitvoeringen mogelijk, zoals tunnelvriezers, spiraalvriezers, IQF-vriezers en wervelbedsystemen. Het ideale systeem is afhankelijk van diverse factoren, zoals het type en de grootte van de producten, de gewenste doorvoer en de lay-out van de fabriek.

De drie technologieën en alle vriezers hebben verschillende voordelen, nadelen en beperkingen. In dit document worden geen specifieke systemen tegen elkaar afgewogen, maar vergelijken we de mechanische, cryogene en mechanische botsingsvriestechologieën. De beste technologie kan alleen gekozen worden wanneer de voedselverwerkingsbedrijven rekening houden met hun unieke omstandigheden en vereisten.

Mechanisch vriezen

In de voedingsindustrie werden eerst mechanische vriezers gebruikt. Ze vormen nog steeds de overgrote meerderheid van de vries-/koellijnen. De systemen zijn speciaal op hun doel afgestemd, ze zijn eigendom van en worden uitgebaat door het voedselverwerkingsbedrijf.

Daarbij laat men een koelmiddel, meestal ammoniak, door het systeem circuleren, waardoor warmte aan de voedingsmiddelen wordt onttrokken. Deze warmte wordt dan naar een condensor gestuurd en omgezet naar lucht of water. Het koelmiddel zelf, nu als hete vloeistof onder druk, gaat vervolgens naar een verdamper. Terwijl het koelmiddel door een expansieklep gaat, wordt het afgekoeld en verdampt het naar de gasvormige toestand. Als gas met lage temperatuur en lage druk wordt het koelmiddel dan teruggevoerd naar het systeem.

Cryogeen vriezen

Cryogene vriezers zijn een eerder recente ontwikkeling, maar ze worden wereldwijd met succes gebruikt door grote fabrikanten van voedingsmiddelen. Deze systemen worden meestal geleased en zijn dus geen eigendom van de voedingsmiddelenfabrikant.

Cryogene apparatuur maakt gebruik van gassen bij zeer lage temperatuur – meestal vloeibare stikstof of vaste koolstofdioxide – die rechtstreeks op de voedingsmiddelen worden toegepast.

Botsingsvriezen

Mechanische botsingsvriezers zijn een ontwikkeling van de voorbije tien jaar. Het product wordt meestal op een band geplaatst, waardoor luchtstromen onder hoge druk worden gestuwd. De lucht wordt gecompriëerd in een ruimte boven (en soms onder) de vriezer en via gleuven, gaten of korte buizen naar de voedingsmiddelen gevoerd.

Dit proces zorgt voor een snellere invriezing dan met klassieke mechanische vriezers, want in dit geval wordt de grenslaag aan het oppervlak doorbroken en verloopt de warmteoverdracht efficiënter.

Hieronder vindt u een overzicht van de belangrijkste verschillen tussen de diverse vriestechologieën:

Kenmerk	Mechanische vriezers	Cryogene vriezers	Botsingsvriezers
Eigendom	Normaal eigendom van de voedingsmiddelenproducent	Normaal gehuurd/geleased van de leverancier (die ook het koelmiddel levert)	Normaal eigendom van de voedingsmiddelenproducenten
Kostenstructuur	Grote kapitaalsinvestering, lagere lopende werkingskosten	Geringe kapitaalsinvestering, grotere variabele kosten achteraf	Hoge kapitaalsinvestering, lopende werkingskosten lager dan bij cryogene systemen, maar groter dan bij klassieke mechanische vriezers
Plaats in de fabriek	Vast, want meestal bevestigd op een betonsokkel. Opstelling beperkt door beschikbare oppervlakte.	Flexibel, opstelling eenvoudiger dankzij kleinere ingenomen oppervlakte dan mechanische vriezers	Flexibeler dan klassieke mechanische vriezers
Koelmiddel	Meestal: ammoniak, R22...	Vloeibare stikstof (LIN) of vaste koolstofdioxide (CO ₂)	Meestal: ammoniak, R22...
Warmteoverdrachtsnelheid/invriessnelheid	Langzamer wegens relatief hoge temperatuur van koelmiddel	Sneller, wegens groot verschil in temperatuur tussen productoppervlak en koelmiddel	Sneller, op voorwaarde dat het product vlak is en niet groter dan 20mm

3. Factoren die de keuze van vriestechologie beïnvloeden

Voedingsmiddelenfabrikanten moeten met diverse factoren rekening houden bij de keuze van de technologie die ze in hun productielijnen wensen te installeren. Algemeen genomen vallen deze onder vier verschillende categorieën: vereisten voor de productkwaliteit en de opbrengst, vereisten voor het fabrieksbeheer, financiële overwegingen en milieufactoren.

3.1 Productkwaliteit

Vochtverlies/vochtgehalte

Alle vriesmethodes leiden tot een zeker vochtverlies, tijdens het vriesproces zelf (gewichtsvlies door verdamping) en/of tijdens het ontdooien (druipverlies).

- Gewichtsvlies door verdamping vermindert het gewicht en dus de waarde van het product, met name bij vlees, gevogelte en zeevruchten. Bovendien heeft de oppervlakteuitdroging gevolgen voor de textuur, de kleur en de bereidingstijd van het product. Het gewichtsvlies door verdamping vermindert het thermisch geleidend vermogen van de oppervlaktelaag en verlengt bijgevolg de bereidingstijd. Dit is met name belangrijk in toepassingen waar de bereidingstijd beperkt is, zoals voor hamburgers voor fastfood-zaken. In de meeste toepassingen kan het gewichtsvlies door verdamping het best worden tegengegaan door de temperatuur zo snel mogelijk te verlagen. Op die manier daalt de dampdruk van het water aan het oppervlak van het voedsel, waardoor er minder uitdroging optreedt.
- Druipverlies doet zich voor tijdens het ontdooien, wanneer een voedingsmiddel cellulaire schade heeft opgelopen ten gevolge van de groei van grote ijskristallen tijdens een langzaam ontdooingsproces. Dit vochtverlies heeft gevolgen voor de kleur, de smaak en de voedingskwaliteit van het ontdooide product, want de nutriënten en pigmenten zitten in het verloren vocht. Structurele schade kan ook de textuur aantasten of de stevigheid verminderen, met name bij groenten en fruit. Dit werd aangetoond in een studie uit 2002 van Agnelli en Mascheroni, die de gevolgen van vriesschade aantoonde door de structuur van ingevroren aardbeien te meten aan de hand van een vergelijkende test. Hieruit bleek dat de aardbeien steviger bleven wanneer ze snel werden ingevroren met cryogene vriezen.

Kleur

De kleur van ontdooide voedingsmiddelen kan op twee manieren door het invriezen worden beïnvloed. Ten eerste door pigmentverlies ten gevolge van druipverlies, zoals hierboven werd beschreven. Ten tweede is er een concentratie van opgeloste stoffen in de resterende niet-bevroren fractie terwijl ijskristallen zich tijdens het invriezen ontwikkelen. Deze concentratietoename versnelt processen zoals oxidatie en enzymatische verkleuring. Hoe langer het product op een temperatuur dicht bij het invriesplateau blijft (m.a.w. hoe trager het invriesproces), des te groter zijn deze effecten.

Het onderzoek van Agnelli en Mascheroni toonde de resultaten van kleurmetingen die werden uitgevoerd op ingevroren en ontdooide hamburgers. Hieruit bleek het belang van de invriessnelheid en de voordelen van een hoge invriessnelheid:

- Zowel het druipverlies als het pigmentverlies waren kleiner,
- De verkleuring van vlees werd tot een minimum beperkt: de kleur van cryo-mechanisch ingevroren hamburgers komt beter overeen met de originele kleur van het vlees dan wanneer ze met zuiver mechanische methoden worden ingevroren.

Delicate producten

Dankzij hun systeemontwerp en hun productbehandeling zijn cryogene vriezers vaak beter geschikt voor tere of delicate producten, zoals vele soorten zacht fruit.

Productkwaliteit: besluit

Uit onderzoek en ervaring blijkt dat snel invriezen het vocht- en opbrengstverlies doet dalen, terwijl wijzigingen in de textuur, de kleur en de smaak van de producten beperkt blijven. Met welke technologie wordt de temperatuur nu het snelst verlaagd?

De snelheid waarmee vriezers de temperatuur verlagen, wordt de gemiddelde warmteoverdrachtsnelheid (per oppervlakte-eenheid) of $h \times \Delta T$ genoemd. Hoe groter de gemiddelde warmteoverdrachtsnelheid, hoe sneller de temperatuur daalt.

Laten we uitgaan van een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van -10°C van het product tijdens het invriezen. Een klassieke mechanische spiraalvriester met een luchttemperatuur van -30°C en een warmteoverdrachtcoëfficiënt van 25 W/Km^2 heeft een equivalente gemiddelde specifieke warmteoverdrachtsnelheid van $25 \times 20 = 500 \text{ W/Km}^2$.

Een klassieke cryogene tunnelvriester met een gemiddelde temperatuur van -80°C en een warmteoverdrachtcoëfficiënt van 60 W/Km^2 heeft een gemiddelde specifieke warmteoverdrachtsnelheid van $60 \times 70 = 4.200 \text{ W/Km}^2$.

Dankzij hun hogere invriessnelheid zijn mechanische botsings- of cryogene vriezers bijgevolg betere technologieën voor een optimale productkwaliteit. Maar mechanische botsingsvriezers kunnen enkel in beperkte toepassingen, nl. dunne voedingsmiddelen met een vlak, recht oppervlak zoals hamburgers, een warmteoverdrachtsnelheid realiseren die vergelijkbaar is met die van cryogene systemen. De warmteoverdracht is in hoge mate afhankelijk van de richting van de luchtstroom, daarom kan botsingsvriezen minder aangewezen zijn voor volumineuze of ongelijkmatige producten.

3.2 Fabrieksbeheer

Elk voedselverwerkend bedrijf is uniek; hiermee moet rekening gehouden worden bij het kiezen van de invriestechologie. Belangrijke factoren zijn de beschikbare oppervlakte, de gewenste flexibiliteit de hygiëne, de reiniging en het onderhoud.

Ingenomen oppervlakte/beschikbare oppervlakte

Cryogene vriezers nemen, bij een gelijke doorvoer, bijna altijd minder oppervlakte in dan hun klassieke mechanische tegenhangers. Bepaalde mechanische botsingssystemen worden nu ook in modulaire vorm geleverd en nemen ook minder oppervlakte in. Dit blijkt uit een vergelijking van de waarden voor twee typische vriezers voor het invriezen van hamburgers.

	Mechanische Doorvoer vriester	Cryogene vriester
2.000 kg/uur	9,5 x 6,5m ingenomen oppervlakte, min. vereiste hoogte 3,7m	12 x 1,6m ingenomen oppervlakte, max. hoogte 1,75 m.
	Totale ingenomen oppervlakte: 62m²	Totale ingenomen oppervlakte: 19m²
500 kg/uur	6,5 x 3m (totaal 19,5m ²)	4 x 1,6m (totaal 6,4m ²)

Omzet

Schommelingen in de vraag kunnen leiden tot plotse en vaak onverwachte stijgingen of dalingen van de omzet. Fabrieksmanagers zijn vaak afhankelijk van variabelen waarover ze geen controle hebben, zoals de mate waarin de consument het product aanvaardt en de levenscyclus van het product.

Daarom is het belangrijk dat de maximale omzet tijdens de afschrijvingsperiode van de invriesapparatuur zo nauwkeurig mogelijk wordt voorspeld. Bij mechanische vriezers kan de afschrijvingsperiode meerdere jaren bedragen. Een te optimistische voorspelling verlaagt het rendement, terwijl een pessimistische planning tot onvoldoende vriescapaciteit kan leiden.

Waar mechanische vriezers een vaste maximale doorvoer voor een specifiek product hebben kunnen modulaire cryogene en mechanische botsingsvriezers worden aangepast (door bv. de tunnellenlengte te vergroten), zodat snel gereageerd kan worden op wijzigingen in de omzet. Bovendien worden cryogene vriezers meestal gehuurd, zodat wijzigingen niet tot belangrijke kapitaalsinvesteringen voor de fabrikant leiden.

Opmerkelijk is dat de mechanische botsingsvriestecnologie een oplossing biedt voor talrijke flexibiliteitsproblemen van klassieke mechanische systemen, met name wat het gewicht en de ingenomen oppervlakte betreft. Anderzijds is mechanisch botsingsvriezen minder flexibel dan klassieke mechanische processen want botsingsvriezen heeft enkel zin bij producten die niet hoger zijn dan 20 mm. Zowel cryogene als klassieke mechanische systemen zijn beter geschikt voor productielijnen die soms, of altijd, grotere of ongelijkmatige producten verwerken.

Configuratie van de productielijn

In de snel evoluerende voedingsindustrie moet de producent vaak de indeling van zijn installaties wijzigen. Dit geldt in het bijzonder voor contractuele productie. Grote mechanische spiraalvriezers zijn zeer grote apparaten, waarvan het gewicht vaak moet worden ondersteund door een betonsokkel. De positie van cryogene of mechanische botsingstunnels is niet altijd gemakkelijk aan te passen, maar vergt uiterst zelden wijzigingen aan de structuur van het gebouw.

Productwijzigingen

Met name voor kleine voedselverwerkingsbedrijven is het belangrijk dat ze een ruim assortiment aan verschillende producten kunnen invriezen. Zowel de invriestijd als de tijd van stilstand zijn van invloed op de mate waarin de fabrikant kan omschakelen naar andere producten. Bij het omschakelen naar andere producten is het aangewezen dat het eerste product de vriezer volledig heeft verlaten voor het tweede product in de vriezer binnengaat. De reden hiervoor is dat verschillen in invriestijd bepalend zijn voor de "verblijftijd" en de bandsnelheid van een bepaald product. Hoe langer de verblijftijd, hoe langer de tijd van stilstand tussen de twee producten. Als reiniging vereist is wanneer naar een ander product wordt omgeschakeld, wat vaak het geval is bij producten met een coatinglaag of bij de omwisseling van rauwe en bereide voedingsmiddelen, moet de fabrikant ook rekening houden met de hygiëne en de reinigingsmogelijkheden, zoals hieronder beschreven zal worden.

Als een fabrikant elke dag gedurende lange tijd en met zeer hoge snelheid slechts één soort product verwerkt, kan mechanisch invriezen de meest geschikte technologie zijn. Dit is natuurlijk afhankelijk van het beschikbare grondoppervlak, het beschikbare kapitaal, de rekrutering van geschoold personeel enz.

Onderhoud, hygiëne en reiniging

Deze processen moeten zo snel en eenvoudig mogelijk verlopen, om de actieve tijd te maximaliseren en het rendement van de lijn te optimaliseren. De afzetting van vocht of sneeuw op verdamper in mechanische vriezers kan bijvoorbeeld de productietijden verlengen en de productiecapaciteit verlagen.

Natuurlijk is een grondige, regelmatige hygiëne en reiniging essentieel in de voedingsindustrie, maar dit mag slechts een minimale impact hebben op de productiviteit. Kleinere en eenvoudig ontworpen vriezers kunnen veel sneller en goedkoper worden gereinigd. Minder complexe inwendige onderdelen, een beperkte hoogte en een optimale toegankelijkheid zijn allemaal factoren die bijdragen tot een sneller reinigingsproces, waardoor deze toestellen efficiënter worden

Mechanische botsingsvriezers worden vaak gekenmerkt door een kleiner ontwerp en een eenvoudigere toegang, vergelijkbaar met cryogene systemen. Hun structuur blijft echter complex en ze zijn moeilijk leeg te maken, waardoor het reinigingswerk onhandig is en er mogelijk meer hygiëneproblemen kunnen optreden.

Fabrieksbeheer: besluit

Rekening houdend met de aspecten die belangrijk zijn voor de fabrieksmanager, kunnen we besluiten dat cryogene vriezers vaak de voorkeurstecnologie vormen voor vele voedselverwerkingsbedrijven dankzij:

- De kleinere ingenomen oppervlakte,
- De aanpasbaarheid aan wijzigingen in de omzet,
- De flexibiliteit bij het verwerken van verschillende producten,
- Een eenvoudiger en beter toegankelijk ontwerp,
- Lagere kapitaalsinvesteringen.

3.3 Financiële overwegingen

Het installeren of vergroten van de vriesapparatuur leidt tot kosten op diverse vlakken, zoals kapitaalsinvestering, werkingskosten en loonkosten voor werking en onderhoud.

Kapitaalsinvestering en lopende kosten

Wat de kosten betreft, is er een groot verschil tussen cryogeen en mechanisch vriezen. Terwijl voor mechanisch vriezen een veel grotere kapitaalsinvestering vereist is, liggen de werkingskosten hoger bij cryogene apparatuur. De omvang van dit verschil is afhankelijk van een groot aantal factoren, maar op elke productielijn zullen de cumulatieve kosten voor cryogeen vriezen op een bepaald ogenblik groter worden dan de kosten voor mechanisch vriezen.

Merk echter op dat de financiering in het huidige economische klimaat moeilijker ligt. Fabrikanten die geen grote kapitaalsinvestering wensen of kunnen doen, kunnen daarom voordeel halen uit cryogene vriessystemen.

Loonkosten

Door hun omvang en complexiteit vergen mechanische vriezers meestal meer mankracht voor de reiniging. De onderhoudsbehoeften van mechanische systemen zijn meestal groter en het onderhoudspersoneel moet over meer vaardigheden beschikken. Het relatieve belang van deze factoren is afhankelijk van het vriezermodel en de lokale loonkost.

Productkwaliteit

Zoals we reeds hebben gezien, is het beperken van het vochtverlies essentieel voor een maximale productkwaliteit en -waarde, met name voor producten van hoge waarde. De keuze van het vriessysteem heeft dus niet alleen financiële maar ook kwalitatieve implicaties voor de producent.

Financiële overwegingen: besluit

Het is absoluut noodzakelijk dat er rekening wordt gehouden met alle financiële factoren bij de keuze tussen cryogeen en mechanisch vriezen. Fabrikanten moeten de kosten over een specifieke periode bekijken en de totale eigendomskosten van elke technologie bepalen. Leveranciers van vriesapparatuur kunnen daarbij helpen, maar de mechanische botsingstechnologie is nagenoeg altijd duurder dan klassiek mechanisch vriezen gezien de kostprijs voor het genereren van de hoge luchtsnelheid. De beslissingen kunnen sterk beïnvloed worden door de beschikbaarheid van investeringskapitaal.

3.4 Milieufactoren

Door het toenemende bewustzijn inzake energieverbruik / afval, de invloed van de productie op de koolstofuitstoot en de ontwikkelingen in de wetgeving, moeten producenten van voedingsmiddelen rekening houden met de milieu-impact van hun vriestecnologie.

De Food and Drink Federation en de Carbon Trust schatten dat de productie van voedingsmiddelen goed is voor slechts 10% van de energieverwante uitstoot in de voedingsketen. Het grootste deel hiervan – ongeveer 60% – is te wijten aan het koelen en vriezen door grote bedrijven die voedingsmiddelen invriezen. Mechanische vriezers vergen minder energie dan vereist is voor de productie van vloeibare stikstof, maar in het totale productiesysteem van voedingsmiddelen dragen beide technologieën slechts een klein percentage toe aan de uitstoot.

4. Besluit

Wat leren we uit deze analyse? Het is duidelijk dat het kiezen van een vriestecnologie niet eenvoudig is en dat geen enkele technologie de perfecte keuze vormt voor alle producenten.

Voor de gebruiker een bepaalde vriezer kiest, dient hij rekening te houden met de beschikbare financiële middelen de te verwerken producten, de indeling en het management van de fabriek en de vereiste flexibiliteit

Cryogene vriessystemen bieden belangrijke voordelen op het vlak van de invriessnelheid voor diverse voedingsmiddelen, wat leidt tot producten van hogere kwaliteit. De geringe kapitaalsinvestering, de flexibiliteit en het reinigingsgemak zijn aantrekkelijk voor vele producenten van voedingsmiddelen.

Mechanische systemen vergen een hogere kapitaalsinvestering, maar kunnen op langere termijn financiële voordelen inhouden. De evolutie in de botsingsvriestecnologie dicht de kloof tussen mechanische en cryogene systemen tot op zekere hoogte, maar de voordelen zijn beperkt tot een bepaald type product. De producent kan best samenwerken met een toonaangevende leverancier van vriessystemen om de technologie te kiezen die het best afgestemd is op zijn behoeften, en vervolgens de best geschikte apparatuur voor de productielijn kiezen.

5. Tell me more

Over de auteur:

Dr. Chris Kennedy is een gezaghebbend, onafhankelijk consultant voor de voedingsindustrie.

In 2009 analyseerde hij de belangrijkste overwegingen bij de keuze van nieuwe invriesapparatuur. Hij bevestigde of trok de voordelen van verschillende vriestecnologieën in twijfel, waarbij hij waar mogelijk verwees naar gepubliceerde informatie. Dit document geeft een samenvatting van de belangrijkste punten uit het onderzoek.

Dr. Kennedy is lid van het Institute of Refrigeration, het Institute of Food Science and Technology en het Institute of Physics. Hij heeft 15 jaar ervaring als consultant voor de voedingsindustrie.

Voor meer informatie

Als u de beste vriestecnologie voor uw fabriek wenst te bespreken, of een gratis evaluatie van uw bestaande vriesproces wenst, kan u een afspraak maken met een van de specialisten van Air Products:

Air Products Nederland B.V.
Schalkwijkpolderweg 2
1165 AC Halfweg
T +31 20 4 35 35 35
E nlinfo@airproducts.com

Air Products N.V.
J.F. Willemsstraat 100
1800 Vilvoorde
T +32 2 255 28 95

tell me more
airproducts.com/food

Nederland

Air Products Nederland B.V.
Schalkwijkpolderweg 2
1165 AC Halfweg
T +31 20 4 35 35 35
E nlinfo@airproducts.com

België

Air Products N.V.
J.F. Willemsstraat 100
1800 Vilvoorde
T +32 2 255 28 95
E beinfo@airproducts.com