

Cryogene toepassingen in de voedingsmiddelenindustrie

Inleiding

Het belang van koude (koelen en vriezen) voor voedingsmiddelen is algemeen bekend. Meestal denkt men in dit verband aan mechanisch opgewekte koude. Maar in een aantal gevallen blijkt ook de koude van cryogene gassen goed bruikbaar voor het koelen en vriezen van voedingsmiddelen. Hierbij worden zowel vloeibare stikstof ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) als vloeibaar kooldioxyde ($-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ bij 15 bar) gebruikt.

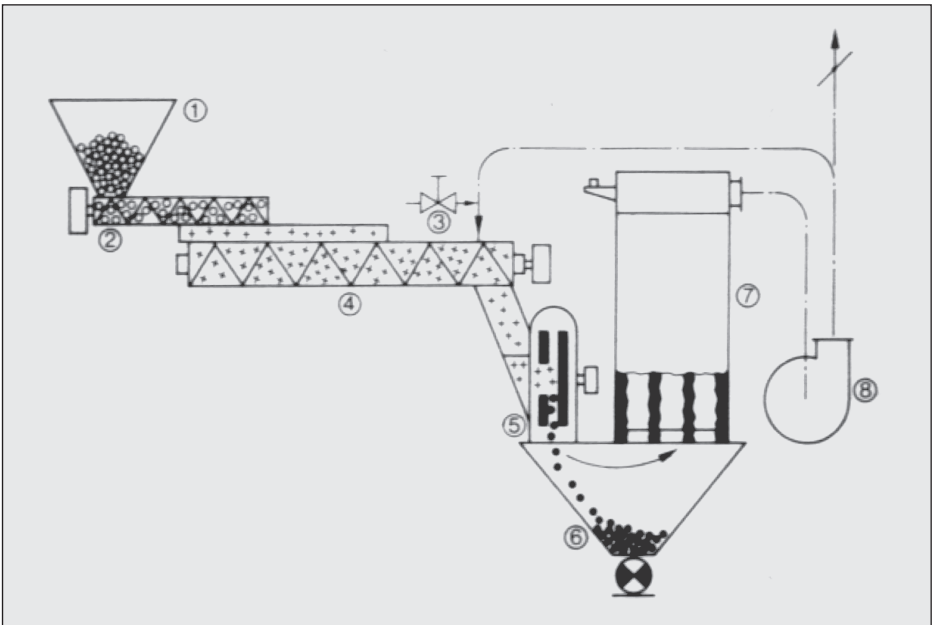
Vloeibaar kooldioxyde gaat bij expansie naar 1 bar over in koolzuursneeuw, dat een temperatuur heeft van $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$. Daar cryogene koude duurder is dan mechanisch opgewekte koude, is de toepassing hiervan alleen zinvol indien hieraan specifieke voordelen zijn verbonden. Deze voordelen kunnen van velerlei aard zijn: op het gebied van de technologie, de kwaliteit of de kostprijs (eventueel een combinatie hiervan).

In het onderstaande zal eerst een aantal specifieke toepassingen worden besproken, zoals koud malen, toepassing in de vleessector en in de bakkerijsector. Hierbij worden de hogere kosten gecompenseerd door een eenvoudiger proces of door betere resultaten. Vervolgens worden een aantal algemene toepassingen bij koelen, vriezen en transport genoemd. Tenslotte zal worden aangegeven in welke gevallen cryogene koude een lagere kostprijs geeft dan mechanisch opgewekte koude.

Koud malen

Bij het malen of op andere wijze verkleinen van voedingsmiddelen ontstaat warmte. Soms levert dit geen problemen op, maar vaak is dit ongewenst. Voorbeelden van dit laatste zijn specerijen, waarbij door de verhitting een deel van de etherische olie kan verdampen, en gehakt en andere vleesgrondstoffen, waarbij bederf en versmering kan optreden. Soms ook zijn de te vermalen producten bij kamertemperatuur te zacht of te taai om ze kunnen malen. Bij zeer lage temperaturen worden ze hard en bros, hetgeen gunstig is voor het malen.

Door vóór het malen de grondstof te mengen (te besproeien) met vloeibare koolzuur of vloeibare stikstof kan de temperatuur naar de gewenste waarde voor een goede maling worden gebracht. Bovendien kan hierdoor de warmte welke bij het malen vrijkomt worden afgevoerd. Vaak blijkt dat koud malen een beter product oplevert: scherpere breukvlakken en een smallere korrelgrootteverdeling. Ook is een nevenvoordeel dat door het koude gas alle zuurstof wordt verwijderd, zodat het malen in een inerte atmosfeer plaatsvindt, waardoor er minder oxidatie optreedt. Ook de kans op stofexplosies wordt kleiner. Daar bij de gebruikelijke lage temperatuur vetten en oliën hard zijn treedt er bovendien



Figuur 1 - Koudmaalsysteem met koeling in de transportschroef.

1. Doseerhopper; 2. Doseerschroef; 3. Vloeibaar gastoevoer; 4. Koel-transportschroef; 5. Molen; 6. Verzamelbunker; 7. Filter; 8. Ventilator.

geen versmering op. Hierdoor blijft de molen optimaal werken. In figuur 1 wordt een voorbeeld gegeven van een cryogeen koudmaalsysteem.

In veel gevallen worden de kosten van het cryogene koudemiddel niet alleen terugverdiend door een betere kwaliteit, maar ook door een lager energieverbruik en een hoger maalrendement. Daar de vereiste temperatuur sterk afhankelijk van het product, zal het verbruik variëren. Meestal ligt dit tussen 0,2 en 1,2 kg koudemiddel per kg te malen product.

Het gebruik van cryogene gassen bij het verkleinen van vlees wordt onderstaand besproken.

Bijzondere toepassingen

Lage temperaturen in voedingsmiddelen kunnen op verschillende manieren worden verkregen:

- Door mechanische koeling. Hierbij is meestal de warmteoverdracht de beperkende factor.
- Door gebruik van ijs. Smeltend ijs is een zeer effectieve koudebron met een zeer goede warmteoverdracht. Een nadeel is dat er water vrijkomt, hetgeen vaak ongewenst is.
- Door cryogene koude. Evenals bij ijs is er een zeer goede warmteoverdracht, maar

bovendien wordt er niets aan het product toegevoegd: zowel (vast of vloeibare) kooldioxyde als (vloeibare) stikstof verdampen volledig en verdwijnen in de lucht of worden naar buiten afgevoerd.

Hierdoor is het met behulp van cryogene koude mogelijk bepaalde bewerkingen uit te voeren, welke anders niet of slechts met veel moeite gerealiseerd kunnen worden. Wel zal het meestal nodig zijn om voor iedere toepassing een speciale werkwijze te ontwikkelen, omdat cryogene koude duur is. Verspilling van deze koudemiddelen moet dan ook worden voorkomen.

In het onderstaande zullen enkele specifieke toepassingen bij de bereiding van vleesproducten en van bakkerijproducten worden besproken.

Vleesproducten

Bij het verkleinen van vlees voor diverse worstsoorten maakt men gebruik van een cutter. Hierbij wordt het vlees door snel ronddraaiende messen in een roterende kom verkleind. Dit verkleinen geeft het beste resultaat bij lage temperatuur. Om dit te bereiken voegt men meestal ijs toe. Dit heeft echter tot gevolg dat het vochtgehalte stijgt hetgeen niet altijd gewenst of toegestaan is. Door in plaats van of samen met ijs gebruik te maken van vast kooldioxyde of vloeibare stikstof kan men de temperatuur laag houden zonder dat het vochtgehalte stijgt. Het is hierdoor mogelijk het vlees veel intensiever te verkleinen, waardoor de bindkracht toeneemt. Ook grondstoffen die bij het verkleinen in de cutter gemakkelijk aan elkaar kleven en 'versmeren', zoals gekookt zwoerd en spek kunnen met vloeibare stikstof worden verkleind, waardoor losse korrels ontstaan. Bij het mengen van vleesgrondstoffen kan eveneens gebruik worden gemaakt van cryogene koudemiddelen om de temperatuur laag te houden of snel te verlagen. Het verbruik bij deze toepassingen ligt ongeveer tussen 0.3 en 0,5 kg koudemiddel per kg vlees.

Veel vleesproducten, zoals gehaktballetjes, spekblokjes, reepjes shoarmavlees en dergelijke worden eerst verpakt en daarna ingevroren. Het nadeel hiervan is dat deze vleesproducten vast aan elkaar vriezen en in bevroren toestand moeilijk los te maken zijn. Vooral bij industriële verwerking is dit een groot nadeel. Deze producten kunnen zeer goed in een draaiende trommel met vloeibare kooldioxyde worden ingevroren. Hierdoor wordt het oppervlak van de producten zo snel hard dat ze niet meer aan elkaar vriezen. Na het invriezen moeten deze producten uiteraard snel worden verpakt en worden opgeslagen in de vriescel. De gebruiker, zowel de consument als de industriële fabrikant van maaltijden, kan gemakkelijk elke gewenste hoeveelheid doseren.

Bakkerijproducten

In de bakkerijsector is het vaak nodig om deeg af te koelen. Zo moet bij voorbeeld biscuitdeeg worden gekoeld van 65 naar 30 °C. Door de grote hoeveelheden gaat dit langzaam. Door het deeg te injecteren met vloeibare kooldioxyde gaat deze afkoeling veel sneller. Hierdoor behoeft men niet te wachten en kan het deeg direct verder worden verwerkt. Hoewel bij het gisten van brood ook kooldioxyde ontstaat is deze koelmethode niet geschikt voor het koelen van brooddeeg zoals men wellicht zou verwachten. Het toepassingsgebied ligt vooral bij biscuit-, blader-, korst- en gistdeeg en voor het vooraf koelen van bloem en meel.

Koelen en vriezen

Bij koelen en vriezen kan men twee processen onderscheiden:

- het afkoelen tot de gewenste lage temperatuur en
- het bewaren bij een constante lage temperatuur.

Bij het bewaren maakt men vrijwel steeds gebruik van mechanische installaties. Echter in speciale gevallen, wanneer er bijvoorbeeld geen elektrische aansluiting is, kan cryogene koeling uitkomst bieden. Een voorbeeld hiervan is de opslag van consumptie-ijs bij mobiele verkooppunten met behulp van koolzuursneeuw.

Het afkoelen met cryogene koudemiddelen zal vooral plaatsvinden wanneer aan een of meer van de volgende voorwaarden is voldaan:

- Er worden hoge eisen gesteld aan de invriessnelheid. Ook hierbij bieden cryogene installaties voordelen.
- De vraag naar koude kent hoge piekbelastingen gedurende relatief korte tijden bij een lage duurbelasting. Een cryogene installatie kan hieraan voldoen zonder hoge investeringskosten.
- Wanneer door bijzondere omstandigheden een mechanische installatie niet goed kan worden toegepast.

In het onderstaande zullen hiervan enkele voorbeelden worden gegeven:

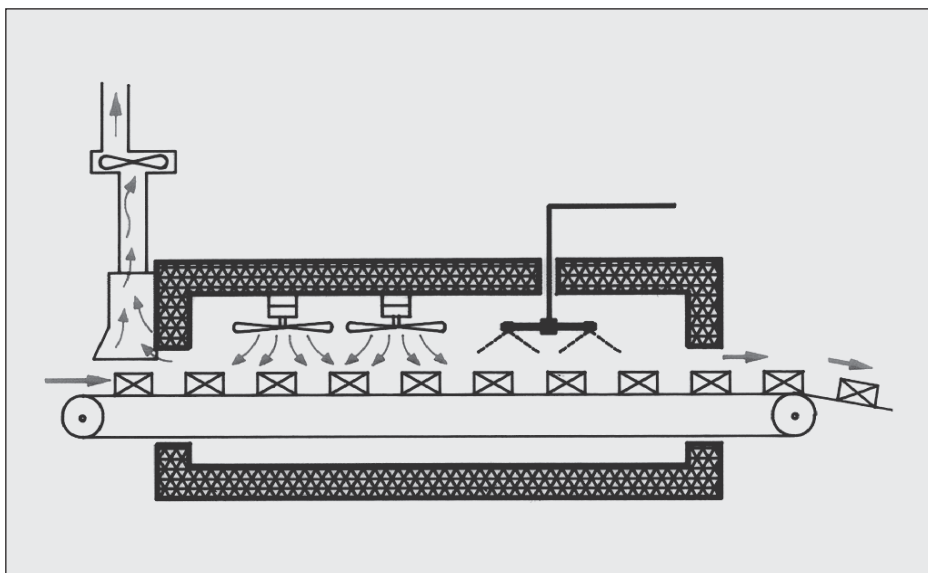
Invriessnelheid

Voor veel voedingsmiddelen is het van belang dat de zone, waarin tijdens het invriezen zich ijskristallen vormen, zo snel mogelijk wordt doorlopen. Hierdoor ontstaan kleine ijskristallen hetgeen bijna altijd gunstig is voor de structuur van het product na het ontdooien of bij consumptie in bevroren toestand (consumptie-ijs). Snelle afkoeling betekent de noodzaak van een grote warmte-overdracht, wat door een groot temperatuurverschil kan worden bereikt. Cryogene koudemiddelen lenen zich er bij uitstek voor om dit te realiseren.

Hierbij moet gewezen worden op een misverstand. Bij gebruik van vloeibare stikstof (kookpunt $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) wordt niet bij deze temperatuur ingevroren. Veel producten zouden hierdoor zelfs beschadigen. Door afkoeling tot deze temperatuur krimpt het oppervlak zo sterk dat er scheuren kunnen ontstaan!

Meestal wordt vloeibare stikstof (of kooldioxyde) in de ruimte gespoten, hierin verdampt het. De koude damp wordt door ventilatoren rond het product geblazen. Dit circulerende gas heeft vaak een temperatuur rond $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Door de verdampingswarmte van het vloeibare koudemiddel kan veel warmte aan de circulerende gassen en dus ook aan het af te koelen product worden onttrokken. Bovendien kan met het koude gas de inkomende productstroom worden voorgekoeld, voordat dit gas naar buiten wordt afgevoerd.



Figuur 2 - Principeschema van een koolzuur- of stikstoftunnelvriessysteem

De installaties die voor cryogeen invriezen worden gebruikt zijn met name kasten, band- of tunnelvriezers (figuur 2) en spiraalvriezers.

Door de hoge warmte-overdracht kunnen deze installaties beperkt van afmetingen zijn. Uiteraard geldt dit alleen voor producten met geringe afmetingen, bij voorkeur zonder verpakking. Bij grotere eenheden duurt de warmtegeleiding in het product zo lang dat de voordelen van het cryogeen invriezen verloren gaan.

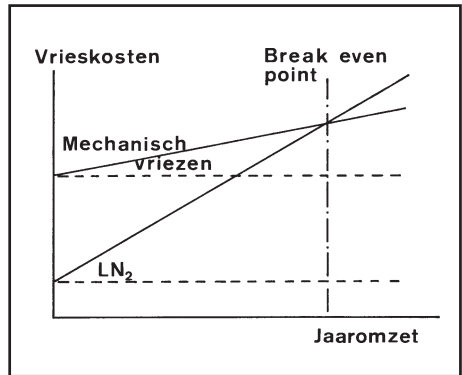
Piekbelastingen

Bij een aantal toepassingen is er met tussenpozen slechts korte tijd vraag naar veel koude. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het aanvriezen van vlees of vleeswaren voor het snijden. Het is dan de bedoeling dat het oppervlak van het product hard wordt, zodat het hanteerbaar en goed snijdbaar wordt, maar het grootste (binnenste) deel niet bevroren. Hiervoor is een cryogene vrieskast zeer geschikt. De koude is direct beschikbaar en buiten gebruik verbruikt de installatie weinig gas. Doordat door de isolatie van het voorraadvat altijd enige warmte lekt, zal er enig gas verdampen en worden afgeblazen om druk en temperatuur constant te houden.

Transport

Een bijzondere toepassing is het gebruik van cryogene koudemiddelen bij het transport, met name bij de distributie. Bij de distributie van gekoelde en bevroren voedingsmiddelen zijn er enkele problemen die door cryogene koeling kunnen worden ondervangen:

- De gebruikelijke mechanische koelinstallaties op koelvoertuigen geven meestal hinder door het geproduceerde geluid. Hierdoor is de chauffeur soms genoodzaakt de installatie af te zetten. Een cryogene installatie werkt nagenoeg geluidloos.
- Tijdens de distributie worden de deuren vaak geopend. Hierbij treedt uitwisseling van warme en koude lucht op. Een mechanische installatie heeft meestal onvoldoende capaciteit om dit bij veelvuldige deuropeningen te compenseren. Een cryogene installatie kan deze piekbelastingen gemakkelijk opvangen.
- Cryogene installaties werken met weinig bewegende onderdelen en zijn daardoor goedkoper en minder storingsgevoelig dan mechanische installaties.



*Figuur 3 - Kostprijsvergelijking van een mechanische en een cryogene koelinstallatie met vloeibare stikstof (LN₂).
 ---- : vaste kosten;
 — : vaste kosten + variabele kosten.*

Zoals gebruikelijk hebben goede oplossingen ook nadelen, dit geldt ook voor cryogene transportkoeling:

- De installatie kost meer ruimte en is zwaarder dan mechanische koeling door het volume en het gewicht van het voorraadvat. Dit gaat ten koste van de nuttige lading.
- Het cryogene koudemiddel verdringt (voor een deel) de lucht(zuurstof). Daarom moet bij het lossen na het openen van de deuren even gewacht worden, zodat voldoende lucht kan toetreden. Dit kost zowel tijd als koudemiddel.
- Cryogene koude is duurder dan langs mechanische weg opgewekte koude.

Een ideaal koelvoertuig heeft zowel een mechanische als een cryogene koelinstallatie. Echter de hogere investeringskosten en de geringere nuttige lading vergeleken met een enkelvoudige installatie zullen een ernstige belemmering zijn voor een algemene toepassing.

Economie

De economie van cryogene koelprocessen is afhankelijk van de wijze van toepassing. Bij bijzondere toepassingen moet worden nagegaan of de kosten opwegen tegen de verbetering van de kwaliteit en/of van het proces. Dit moet per geval worden nagegaan. Bij koelen en vriezen is vaak een bruikbaar alternatief voor handen, namelijk mechanisch koelen. Hierbij is het mogelijk om een kostprijsvergelijking te maken. Daar de werkelijke kosten sterk afhangen van de plaatselijke situatie zal hier alleen een kwalitatieve vergelijking worden gemaakt. In tabel I en figuur 3 is een en ander samengevat.

Tabel I Voor- en nadelen van cryogene en mechanische koelinstallaties.

Cryogene installaties	Mechanische installaties
<p>Voordelen Lage investeringskosten Eenvoudige regeling, weinig storingsgevoelig Geluidsarm CFK-vrij Hoge piekbelastingen mogelijk Lage elektrische aansluitwaarde</p> <p>Nadelen Hoge variabele kosten (koudemiddelverbruik) Verbruikt koudemiddel bij nullast Regelmatige aanvoer van koudemiddel noodzakelijk</p>	<p>Voordelen Lage variabele kosten (energie) Verbruikt geen energie bij nullast</p> <p>Nadelen Hoge investeringskosten Capaciteitsregeling maar beperkt mogelijk Hoge elektrische aansluitwaarde</p>

Een cryogene installatie is relatief goedkoop en in staat om een hoge piekbelasting te leveren. Bovendien is het ruimtebeslag gering. Een mechanische installatie is duurder en moet om piekbelastingen op te vangen sterk worden overgedimensioneerd. Dit betekent dat deze installatie meestal ver onder zijn capaciteit werkt, of tijdens piekbelastingen het vereiste koelvermogen niet kan leveren.

Hiertegenover staat dat de variabele kosten (vooral cryogeen koudemiddel) van een cryogene installatie veel hoger zijn dan van een mechanische installatie. Voor installaties met lange bedrijfstijden en geringe piekbelastingen wegen de lagere energiekosten van een mechanische installatie ruimschoots op tegen de hogere investeringskosten. Bij korte bedrijfsperioden (op jaarbasis) met hoge piekbelastingen is een cryogene installatie in het voordeel. De hoge variabele kosten gelden dan maar voor korte perioden. Tijdens stilstand drukken slechts de lage investeringskosten en een gering verbruik van koudemiddel op de exploitatie. Een belangrijk nevenvoordeel van een cryogene installatie is dat deze maar weinig elektriciteit verbruikt, waardoor er nauwelijks een extra belasting komt tijdens piekbelastingen.

Cryogene koel- en vriesinstallaties komen dan ook vooral in aanmerking bij (korte) seizoenproducties of voor de opvang van piekbelastingen in korte perioden tijdens de normale productie.

Auteur: ir. P. C. Moerman

Dit overzicht is gebaseerd op gegevens uit de literatuur en op informatie welke door Hoek Loos te Schiedam is verstrekt.

