

NEUE PERSPEKTIVEN FÜR DIE GEFRIERTROCKNUNG VON LEBENSMITTELN IN DER DDR

Ing. W. ANTER, Dipl.-Ing. R. HOFFMANN, Chem. Ing. M. SCHARNBECK

Forschungsinstitut für die Kühl- und Gefrierwirtschaft, Magdeburg

Die stetige Aufwärtsentwicklung der modernen Wirtschaft zwingt auch die Nahrungsmittelindustrie dazu, nach neuen Wegen in der Herstellung und Lagerung von Lebensmitteln zu suchen. Durch den wachsenden Lebensstandard der werktätigen Menschen ergibt sich die Forderung, Lebensmittel herzustellen, die bei bester Qualität ein Minimum an personellem Einsatz und geringstem Zeitaufwand für die Herstellung und Verzehrfertigmachung der täglichen Mahlzeiten erfordern. Von Seiten des Transports und der Lagerung werden Nahrungsmittel gefordert, die bei geringstem Volumen und Gewicht ein Maximum an Kalorien enthalten und ohne Zuführung von Energie längere Zeit gelagert werden können. Die Entwicklung zur vereinfachten Herstellung der täglichen Mahlzeiten geht deshalb über die Fertiggerichte im Gefrierverfahren schließlich zur Herstellung von hochwertigen Trockenkonzentraten, wie sie durch das Verfahren der Gefrier Trocknung erreicht werden. Dank des Fortschrittes in der Vakuum-, Kälte- und Regelungstechnik kann man heute der Gefrier Trocknung eine entwicklungsfähige Zukunft voraussagen.

Das Verfahren der Gefrier Trocknung beruht darauf, daß Wasser bei Drücken unterhalb des Tripelpunktes nur noch in zwei Aggregatzuständen auftreten kann, und zwar in fester Form als Eis und in Gasform als Wasserdampf. Der Tripelpunkt des Wassers, bei dem die feste, flüssige und gasförmige Phase im Gleichgewicht stehen, ist durch die Koordinaten 0°C und 4,58 Torr gegeben. Sinkt der Druck unter diesen Wert ab, so stellt sich zwischen Eis und Wasserdampf ein Gleichgewichtszustand ein, der der Gleichgewichtskurve in Abb. 1 zu entnehmen ist. Wird dieses Gleichgewicht gestört, so beginnt je nach der herrschenden Temperatur Eis zu sublimieren oder Wasserdampf in Form von Reif zu kondensieren. Bei dem Verfahren der Gefrier Trocknung kommen beide Vorgänge zur Anwendung. Zur Entfernung des Wassers aus dem zu trocknenden Gut wird der Vorgang der Sublimation ausgenutzt und zur Beseitigung des Wasserdampfes wird dieser in einem Kondensator wieder in die Eisform übergeführt.

Im einzelnen finden bei der Gefrier Trocknung folgende Prozesse statt:

1. Das Abkühlen und anschliessende Gefrieren der zu trocknenden Produkte kann entweder durch Wärmeentzug nach der üblichen Weise mittels Kältemaschinen in einem gekühlten Raum oder durch Entzug der Verdampfungswärme infolge Druckerniedrigung in einer Vakuumkammer erfolgen. Welches der beiden

Verfahren zur Anwendung kommt, hängt von den Stoffeigenschaften des jeweiligen Trockengutes ab.

2. Die Haupttrocknung ist der eigentliche Sublimationsprozeß. Dabei gehen in einem entsprechend evakuierten Raum Wassermoleküle von der Eisoberfläche des Trockengutes, ohne vorher die flüssige Phase zu berühren, direkt in den Dampfzustand über. Er ist beendet, sobald das gesamte Eis aus dem Trockenprodukt entfernt ist.

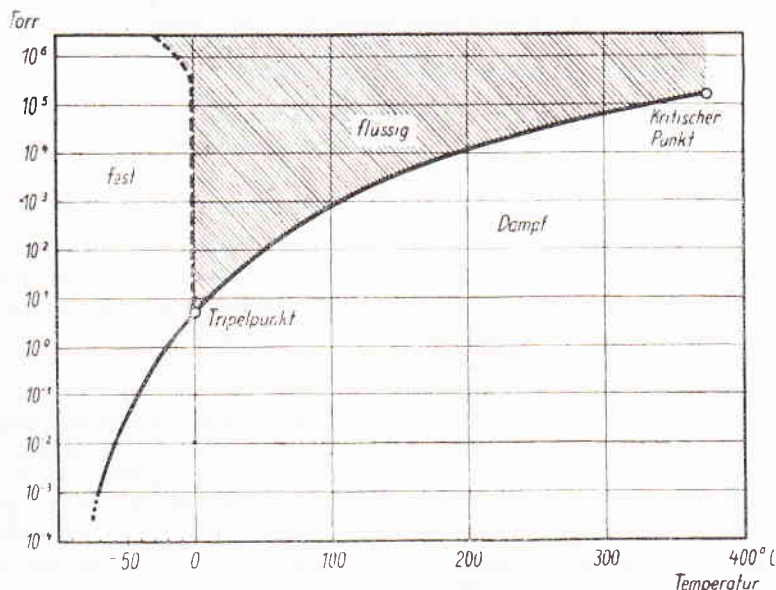


Bild 1. Darstellung der Aggregatzustände von Wasser.

Образ 1. Зобраzenie скупенств воды

3. Nachdem die Sublimation beendet ist, wird bei einer höheren Betriebstemperatur und bei einem höheren Vakuum noch nachgetrocknet, dabei wird das zellulargebundene Wasser bis zur gewünschten Restfeuchte entfernt.

Obwohl die industrielle Anwendung des Verfahrens der Vakuumgefrier Trocknung noch am Anfang einer vielversprechenden Entwicklung steht, gibt es in einigen Ländern schon Beispiele für einen erfolgreichen Einsatz von Produktionsanlagen.

Die Konstruktionsunterschiede der einzelnen Anlagen liegen vor allem in der Ausführung des Heizungssystems und der Abführung der Wasserdämpfe. Bei verschiedenen Gefrier Trocknungsanlagen erfolgt die Wärmeübertragung durch Kontakt von der Unterseite und Wärmestrahlung von der Oberseite. Diese Wärmezuführung besitzt bei gleicher Heizplattentemperatur den Nachteil, daß nur von der unteren Seite die maximal mögliche Wärmemenge zugeführt werden kann und somit die Sublimationsrate keinen optimalen Wert annimmt. Bei dem Verfahren der Kontaktplattenheizung werden die zu trocknenden Produkte von beweglichen Heizplatten so eingeschlossen, daß Wärmeübertragung von oben und unten durch Wärmeleitung erfolgt. Da die meisten Lebensmittel unregelmäßig

geformte Körper darstellen, müssen diese für eine optimale Wärmeübertragung stark zusammengepreßt werden.

Damit bleibt dieses Heizverfahren auf bestimmte Erzeugnisgruppen beschränkt. In den USA wurden Versuche über die Anwendung der dielektrischen und der induktiven Heizung gemacht. Der Einsatz dieser Heizungsmethoden für eine industrielle Großproduktion scheiterte jedoch immer an den hohen Investitions- und Betriebskosten. Die günstigste Lösung für die Zuführung der Sublimationswärme scheint eine beidseitige Strahlungsheizung zu sein. Dabei ist die Garantie gegeben, daß von beiden Seiten dem Trockengut die optimale Wärmemenge zugeführt wird. Außerdem ist dieses Verfahren vollkommen unabhängig von der Form des Trockengutes, und der Wasserdampf kann ebenfalls ungehindert entweichen.

Die Abführung des Wasserdampfes erfolgt in den meisten Anlagen durch Ausfrieren an einem Eiskondensator, der vom Verdampfer einer Kälteanlage gebildet wird. In einzelnen Fällen, speziell, wenn billiger Abdampf zur Verfügung steht, kommen Dampfstrahlsauger zur Anwendung. Grundsätzlich kann man die internationale Entwicklungstendenz in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Einsatz von Großanlagen mit mehreren Tonnen Tagesleistung im kontinuierlichen und Chargenbetrieb.

2. Entwicklung von Spezialanlagen, welche nur bei einem Trockenprodukt die optimale Wirtschaftlichkeit erreichen, z. B. Anlagen für Fruchtsäfte.

3. Entwicklungsarbeiten auf dem regelungstechnischen Gebiet mit dem Ziel, den komplizierten Produktionsprozeß bei optimaler Sublimationsrate unter Kontrolle zu bringen.

4. Technologisch wird das Ziel verfolgt, die wirtschaftlichsten Betriebsbedingungen bei optimaler Qualität und Lagerfähigkeit zu entwickeln.

5. Verpackungstechnisch ist das Problem der vollkommen sauerstofffreien Verpackung überwiegend. Gegenwärtig untersucht man in fast allen an der Gefrier-

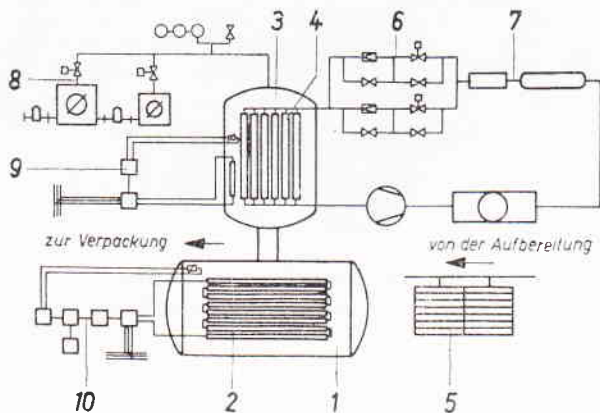


Bild 2. Schema der Gefriertrocknungsanlage für 125 kg Frischgut/Charge. 1 — Trockenkammer, 2 — Heizplatten, 3 — Kondensator, 4 — Verdampfer, 5. Beschickungswagen, 6 — Regulierstation, 7 — Kälteanlage, 8 — Vakuumanlage, 9 — Abtaueinrichtung, 10 — Heizungsanlage.

Obraz 2. Schéma zariadenia pre sublimačné sušenie na 125 kg čerstvého tovaru (na vsádzku) 1 — sušiacia komora, 2 — zahrievacie dosky, 3 — kondenzátor, 4 — výparník, 5 — zavážací vozík, 6 — regulačná stanica, 7 — chladiace zariadenie, 8 — vakuové zariadenie, 9 — rozmrazovacie zariadenie, 10 — zariadenie na zahrievanie

trocknung interessierten Ländern die Möglichkeiten, das Trockenprodukt direkt in der Trockenkammer zu verpacken. Man hofft damit die Lagerschwierigkeiten bei fettreichen Produkten, z. B. Schweinefleisch, zu überwinden.

In der DDR wurde vom Forschungsinstitut für die Kühl- und Gefrierwirtschaft Magdeburg in Zusammenarbeit mit der einschlägigen Industrie eine Versuchs-Gefriertrocknungsanlage entwickelt und gebaut, die in ihrer Konstruktion und ihrer Leistung dem internationalen Stand entspricht. Der schematische Aufbau ist aus dem Bild 2 ersichtlich. Die maximale Trockenkapazität beträgt 125 kg Frischgut/Charge. Die gesamte Anlage wurde im Baukastenprinzip entwickelt. Durch Aneinanderreihen entsprechender Baueinheiten kann jede beliebige Trockenkapazität erreicht werden. Damit ergibt sich ein Optimum an Wirtschaftlichkeit einmal bei der Herstellung der Anlage im späteren Betrieb, bei der Ersatzteilbeschaffung und bei der Erweiterung bereits vorhandener Anlagen. Das Trocken-



Bild 3. Kleines Sortiment von gefriergetrockneten Lebensmitteln.

Obraz 3. Malý sortiment lyofilizovaných potravín

produkt durchläuft den ganzen Prozeß auf einem Hordenwagen von der Aufbereitung in der Küche bis zur Verpackung nach beendeter Trocknung. Nach seiner Aufbereitung wird das zu trocknende Gut auf Aluminiumschalen gelegt, die mittels eines Wagens in die Trockenkammer eingefahren werden. Die Beschickung kann im nassen oder gefrorenen Zustand erfolgen. Der an einer Rollenbahn hängende Beschickungswagen besteht aus einer Blechkonstruktion und kann 28 Schalen mit einer Nutzfläche von je 500×310 mm aufnehmen. Die Gesamtaufnahmenfläche für die Trockenkammer ergibt sich zu 4,34 m². Das zu trocknende Gut befindet sich während des gesamten Trockenprozesses berührungsfrei zwischen zwei Heiz-

platten und wird, unabhängig von seiner Oberflächenform, von oben und unten auf die gleiche maximal zulässige Oberflächentemperatur aufgeheizt. Damit wird dem Trockengut die optimale Wärmemenge von zwei Seiten zugeführt und der Wärmetransport innerhalb des Gutes durch Halbierung des Weges für die Wärmeleitung wesentlich verbessert. Der sublimierende Wasserdampf gelangt durch ein Verbindungsrohr von der Trockenkammer zum Kondensator und wird dort in die feste Form (Reif) überführt.

Die Versuchsanlage arbeitet vollautomatisch. Sämtliche Schalt-, Steuer- und Meßgeräte werden in einem Schaltschrank zusammengefaßt. Die Meßstellen wurden auf die Belange einer Versuchsanlage abgestimmt. Alle technologisch wichtigen Meßwerte werden während des Trocknungsprozesses laufend überwacht und von Bandschreibern registriert.

Das erforderliche Betriebsvakuum der Anlage ergibt sich aus der Sublimations- und der Kondensatortemperatur. Die Temperatur während der Haupttrocknung wird je nach Art der Lebensmittel zwischen -5 und -25°C gehalten, die Kondensatortemperatur liegt bei -45°C . Daraus ergibt sich für das Betriebsvakuum ein Bereich von 1 bis 0,1 Torr. Zur Evakuierung der Rezipienten und Aufrechterhaltung des Vakuums wurden 2 Drehschieber-Vakuumpumpen installiert.

Nach Erreichen des Betriebsvakuums wird automatisch über einen Vakuumwächter die Evakuierungspumpe ausgeschaltet und es bleibt nur noch die Haltepumpe in Betrieb. Beide Vakuumerzeuger sind mit Vorpumpen-Schutzventilen ausgestattet, welche bei Außerbetriebsetzung der Pumpe die Saugleitung abdichten und die Pumpe belüften. Das Vakuum im Rezipienten wird laufend von einem Vakuummeter gemessen und von einem elektronischen Kompensations-Schnellschreiber registriert.

Der Kältebedarf für den Kondensator ergibt sich aus der maximal sublimierenden Menge einschl. Verluste. Um bei der erforderlich tiefen Temperatur von -45°C noch einen für die Leistungsregulierung große Vorteile bietenden einstufigen Prozeß zu erhalten, wurde als Kältemittel X 22 (Freon 22) gewählt. Der Verdampfer der Kälteanlage wird als Kondensator für die Gefrier Trocknungsanlage benutzt. Er besteht aus 6 Glattrohrverdampfern. Die Verdampferoberfläche muß einmal danach ausgelegt werden, daß das gesamte Volumen des in Form von Reif sich ansetzenden Sublimates aufgenommen werden kann und danach, daß die bei der Kondensation freiwerdende Wärmemenge durch das Kältemittel X 22 abgeführt werden kann. Die sublimierende Menge verläuft vom Maximum bei Beginn der Trocknung bis zum Minimum bei Beendigung der Trocknung. Der Kältebedarf wird deshalb den gleichen Verlauf haben und muß durch entsprechende Leistungsregulierung gesteuert werden.

Nach jeder Charge muß der Kondensator, um wieder aufnahmefähig zu sein, abgetaut werden. Die bei dem Abtauprozess zugeführte Wärme bewirkt zwangsläufig eine Volumenvergrößerung des Restkältemittels im Verdampfer und damit einen unerwünschten Druckanstieg. Durch ein Zeitrelais, welches ein Nachlaufen des Verdichters nach der Betätigung des Ausschaltknopfes garantiert, wird das Restkältemittel weitgehend abgesaugt. Einen zusätzlichen Schutz bietet ein auf der Verdampferseite aufgesetztes Sicherheitsventil.

Für den Vorgang der Sublimation wird eine bestimmte Wärmemenge benötigt, welche bei Wasser ca. 700 kcal/kg beträgt. Sie wird von 4 elektrischen Rohrheizkörpern je Heizplatte erzeugt und durch Strahlung auf die Trockenschalen bzw. direkt auf das Trockengut übertragen. Aus Sicherheitsgründen werden die Heiz-

stromkreise über zwei Endschalter geführt, welche beim Öffnen der Türen den Stromkreis unterbinden.

Wie schon erwähnt, verläuft die sublimierende Menge von Maximum bei Beginn der Trocknung bis zum Minimum bei beendeter Trocknung. Sowohl während der Haupttrocknung als auch während der Nachtrocknung dürfen bestimmte durch die Temperaturempfindlichkeit der Trockengüter gegebene Temperaturen nicht überschritten werden. Die Wärmezufuhr durch die Heizplatten muß also geregelt bzw. gesteuert werden. Während der Haupttrocknung wird der Heizstrom nach einem für das jeweilige Trockengut einstellbaren Programm gesteuert. Durch die Programmsteuerung wird die für den Trockenprozeß günstigste Eistemperatur konstant gehalten. Mit Beginn der Nachtrocknung wird als Meßwertgeber automatisch auf ein Doppelwiderstandsthermometer umgeschaltet. Die obere Grenze

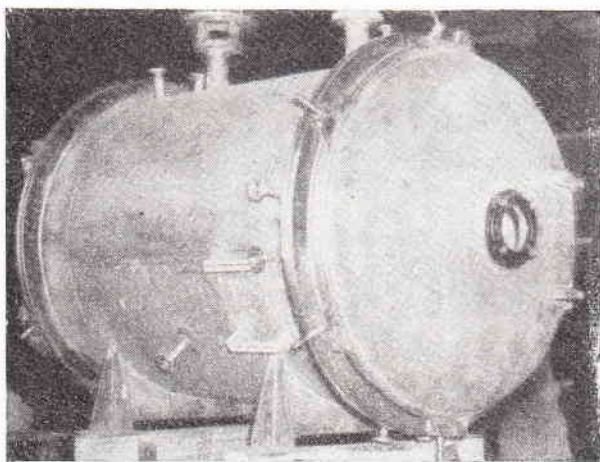


Bild 4. Im Bau befindliche Trockenkammer.
Obraz 4. Sušiaća komora v rozostavanom stave

für die Regelung der Heizplattentemperatur während der Nachtrocknung ist die höchstzulässige Oberflächentemperatur des Trockengutes, welche vor Beginn der Trocknung in einem Bereich von $+20$ bis $+90^{\circ}\text{C}$ einstellbar ist. Die gemessenen Temperaturen werden von einem 12-Farbenschreiber registriert. Durch ein einstellbares Zeitglied wird die Nachtrocknung und damit der gesamte Trockenprozeß beendet.

Mit der Fertigstellung der beschriebenen Anlage wird in der DDR die Grundlage für die industrielle Produktion von gefriergetrockneten Lebensmitteln geschaffen. Die bisherigen technologischen Forschungsarbeiten im Forschungsinstitut für die Kühl- und Gefrierwirtschaft Magdeburg haben gezeigt, daß dieses neue Konservierungsverfahren praktisch für alle lebensmittelverarbeitenden Industriezweige von Interesse ist.

Mit der Gefriertrocknungskonserve liegt erstmalig ein Erzeugnis vor, das die Vorteile des Trockenproduktes und der Gefrierkonserven in sich vereint. Lyophilisierte Lebensmittel besitzen annähernd Farbe, Geruch, Geschmack und Konsistenz des Frischproduktes und sind bei entsprechender Verpackung für längere

Zeit ohne Zuführung weiterer Energie vor mikrobiologischen und fermentativen Einflüssen geschützt. Hitzeempfindliche, ernährungsphysiologisch wichtige Bestandteile, wie z. B. Vitamine, bleiben praktisch völlig erhalten.

Besonders die Tatsache der augenblicklichen Rekonstituierung durch Zugabe von heißem Wasser ist für die Suppenindustrie von vorrangiger Bedeutung. Es besteht die Möglichkeit, nur bestimmte leicht verderbliche Suppenbestandteile oder auch komplette Suppen zu trocknen.

Ebenso können tafelfertige Speisen alter Art, wie z. B. Gulasch, Ragout, Braten, Fleisch — Gemüse — Mischgerichte, Gemüse, Sättigungsbeilagen, Kompotte usw. durch Gefriertrocknung konserviert werden. Dadurch ergibt sich für die Gastronomie und den Haushalt eine bequeme Vorratshaltung schmackhafter, vollwertiger Nahrungsmittel. Besonders vorteilhaft erscheint der Einsatz

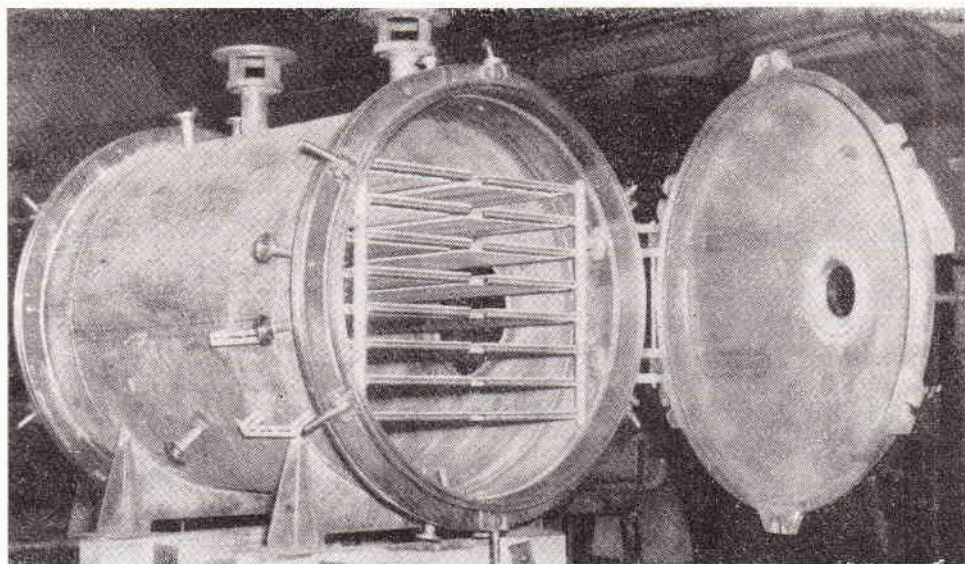


Bild 5. Im Bau befindliche Trockenkammer mit Strahlungsheizplatten.

Образ 5. Суши́аца ко́мора с до́сками на са́лавýй о́грев в ро́зоста́ваном ста́ве

gefriergetrockneter Lebensmittel durch die erleichterten Transport- und Lagerbedingungen für die Verpflegung von Armee-Einheiten und Expeditionen, für Großveranstaltungen sportlicher und kultureller Art, für die Diätverpflegung und als Campingverpflegung. Für spezielle Fachgebiete der Lebensmittelindustrie bieten sich durch die Gefriertrocknung neue Möglichkeiten der Konservierung leicht verderblicher Produkte.

In der fleischverarbeitenden Industrie ist besonders die Trocknung von Fleisch sowohl in rohem als auch in tafelfertigem Zustand in Form von Scheiben oder als Brät interessant. Für die Fischindustrie wird die Gefriertrocknung zweifache Bedeutung erlangen, einmal als Verpflegung für die Besatzung der Fangschiffe und zum anderen als Konservierungsverfahren besonders für Fischfilet.

Von den Erzeugnissen der obst- und gemüseverarbeitenden Industrie eignen sich für die Gefriertrocknung besonders vorgekochte edle Gemüse, wie z. B. Spargel, Blumenkohl, Rosenkohl, junge Erbsen u. ä., würzende Gemüse und reine Gewürze wie Porree, Sellerie, Paprika, Zwiebeln und Petersilie und edle Obstsorten wie z. B. Erdbeeren, Himbeeren, Pfirsiche und Aprikosen. Letztere haben durch die gute Aromaerhaltung über längere Zeit auch als Rohstoff für die Süß- und Backwarenindustrie Bedeutung.

Die Getränkeindustrie darf neue Perspektiven in der Herstellung von Trockenkonzentraten für Limonaden- und Milchmixgetränke sowie von Kaffee- und Tee-Extrakt erblicken.

Die aufgeführten Anwendungsmöglichkeiten der Gefriertrocknung sollen nur die wichtigsten Gebiete umreißen und sind keineswegs vollständig. Da dieses Konservierungsverfahren noch verhältnismässig jung ist, werden laufend neue Technologien erarbeitet. Dennoch wird die Gefriertrocknung die Gefrierkonserve und die Sterilkonserve nicht verdrängen, sondern jedes Verfahren wird für spezielle Anwendungsgebiete gleichberechtigt nebeneinander bestehen.

KRÁTKY OBSAH ČLÁNKU

Zvyšovanie životnej úrovne pracujúceho človeka si vyžaduje vyrábať také potraviny, ktoré by v najkratšom čase, pri zachovaní optimálnej kvality, s najmenším počtom personálu usnadnili prípravu hotových jedál. Z hľadiska prepravy a skladovania sú najvhodnejšie potraviny o čo najmenšej váhe, objeme a s vysokou kalorickou hodnotou. Tieto požiadavky v súčasnej dobe splňuje metóda sublimačného sušenia výmrazom. Ďalej autori popisujú jednotlivé fázy sublimačného sušenia. Rozdiely v konštrukcii jednotlivých zariadení sú vo vyhotovení zahrievacieho systému a v obvode vodných pár. Najoptimálnejším vyriešením pre privod sublimujúceho tepla je obojstranné sálavé zahrievanie, kde sa sušenému tovaru z oboch strán privádza potrebné množstvo tepla, sušenie nezávisí od formy sušiceho sa tovaru a vodná para môže unikáť nehatene. V NDR vyvinul Výskumný ústav chladiarenskej techniky v Magdeburgu pokusné zariadenie na sublimačné sušenie. Maximálna kapacita sušenia je 125 kg čerstvého tovaru (na vsádzku). Celé zariadenie vyvinuli v stavebnicovom systéme. Zoradením zodpovedajúcich stavebných jednotiek možno doceliť akúkoľvek ľubovoľnú sušiacu kapacitu. Tým sa dosiahne optimálna hospodárnosť jednak pri výstavbe zariadenia a pri jeho prevádzke, jednak pri zadovážovaní náhradných dielcov a pri rozšírení už existujúcich zariadení. Produkt, ktorý sa má sušiť, prechádza všetkými fázami na etážovom vozíku od prípravy v kuchyni až do zabalenia po ukončení sušenia. Po jeho príprave sa tovar, ktorý sa má sušiť, uloží na hliníkové misky, ktoré sa na vozíku vovezú do sušiacej komory. Zavážka môže byť v mokrom alebo mrazenom stave. Zavážací vozík, ktorý visí na kladkovej dráhe, pozostáva z plechovej konštrukcie a môže pojať 28 misiek s úžitkovou plochou 500 × 310 mm. Celková plocha schopná zavážky pre sušiacu komoru je 4,34 m². Tovar, ktorý sa má sušiť, sa nachádza počas celého sušiaceho postupu bez dotyku medzi dvoma zahrievacími platňami a nezávisle od formy povrchu sa zahrieva zhora a zdola na rovnakú maximálne možnú povrchovú teplotu. Pokusné zariadenie pracuje úplne automaticky. Autori uvádzajú možnosti použitia sublimačného sušenia pri výrobe polievok, hotových jedál, mäsa a mäsových produktov, rýb, ovocia a zeleniny ako aj nápojov.