

Kühlung von Transportfahrzeugen mit flüssigem Stickstoff

Dipl. Ing. R. HOFFMANN, Ing. W. ANTER

Aus dem Forschungsinstitut für Kühl- und Gefrierwirtschaft Magdeburg
(Direktor Ing. E. Gröschner)

Unter den in der Lebensmittelindustrie gebräuchlichen Konesrvierungsverfahren hat die Frischhaltung der Nahrungsmittel durch Kältebehandlung in den letzten Jahren ständig an Bedeutung gewonnen. Voraussetzung für die Erhaltung dieser qualitativ hochwertigen Produkte ist das Vorhandensein einer geschlossenen Kühlkette vom Erzeuger bis zum Verbraucher. Das schwächste Glied innerhalb dieser Kühlkette stellt bis zum jetzigen Zeitpunkt der Transport dar.

Grundsätzlich kann man die Verfahren zur Fahrzeugkühlung in 3 Gruppen einteilen

1. mechanische Kühlung
2. Kühlung mit festem Kältespeicher
(Trockeneis, eutekt. Patronen)
3. Flüssiggaskühlung.

Während die beiden erstgenannten Gruppen die konventionelle Art der Fahrzeugkühlung bilden, hat sich die Flüssiggaskühlung erst in den letzten Jahren als konkurrenzfähiges Kühlverfahren international durchgesetzt. Für die Flüssiggaskühlung wird als Kälteträger fast ausschließlich flüssiger Stickstoff benutzt.

Stickstoff besitzt eine Siedetemperatur von -196°C . Die in den Laderaum versprühte Flüssigkeit verdampft dabei sofort und entzieht dem Raum die Verdampfungswärme von 47,7 kcal/kg. Die kalten Stickstoff-Gase dehnen sich im Verhältnis zur Flüssigkeit um 1 : 500 aus, wobei dem Raum weiterhin die nicht latente Wärme der Gase durch ihre Erwärmung auf Raumtemperatur entzogen wird. (Abb. 1)

Da innerhalb der DDR gute Voraussetzungen für die Erzeugung von flüssigem Stickstoff vorhanden sind, wurde vom Forschungsinstitut für die Kühl- und Gefrierwirtschaft Magdeburg ein serienmäßiges Thermosfahrzeug, Typ W 50 L, mit einer von uns entwickelten Stickstoffkühlanlage ausgerüstet. (Abb. 2)

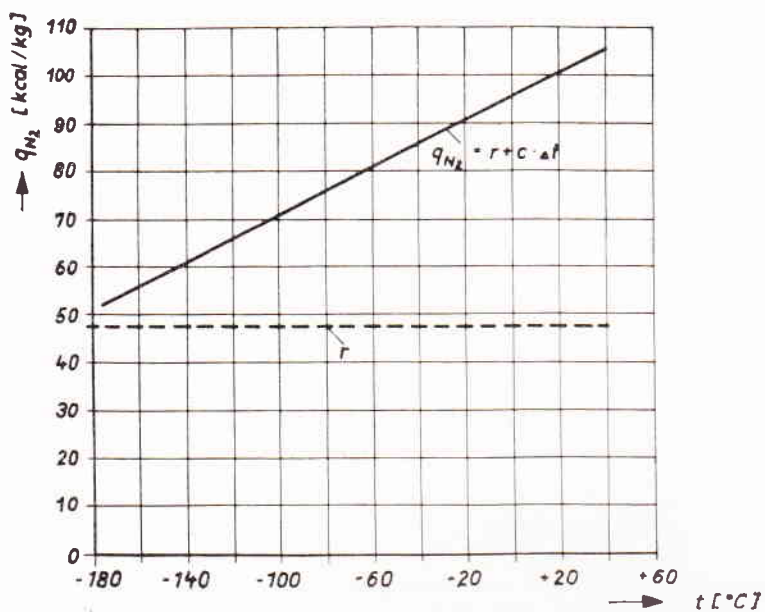


Abb. 1. Spezifischer Wärmeinhalt von Stickstoff (q_{N_2}) in Abhängigkeit von der Arbeitstemperatur



Abb. 2. Versuchsfahrzeug vom Forschungsinstitut für die Kühl- und Gefrierwirtschaft Magdeburg

Aufbau der Kühlanlage

Die gesamte Stickstoffkühlanlage besteht aus einem Speicherbehälter für flüssigen Stickstoff, einer Sprühleitung, einer Tankvorrichtung, den automatischen Regelgeräten für das Versprühen und den erforderlichen Sicherheits- und Kontrollgeräten. Der Speicherbehälter ist ein vakuumisoliertes, doppelwandiges zylindrisches Gefäß mit einem Inhalt von 220 l und befindet sich innerhalb des Laderaumes vom Fahrzeug. Die Verluste des Behälters betragen ca. 5 % pro Tag und werden für die Fahrzeugkühlung mit ausgenutzt.

Der Laderaumverlust beträgt ca. 0,6 m².

Der durch die Eigenverdampfung des Stickstoffs entstehende Behälterdruck ist mittels Sicherheitsventil auf maximal 1 atü fest eingestellt. Die Sprühleitung besitzt mehrere Düsen und ist an der inneren Dachverkleidung des Isolierkoffers angeordnet (Abb. 3). Zwischen Behälter und Düsen befindet sich in der Sprühleitung ein Magnetventil, das von einem Raumthermostaten ge-

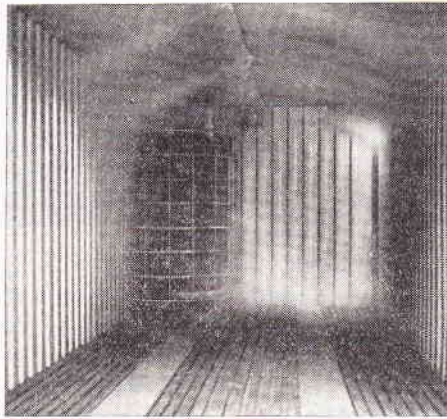


Abb. 3. Laderaum des Versuchsfahrzeuges mit in Betrieb befindlicher Kälteanlage

steuert wird. Durch entsprechende Einstellung des Raumthermostaten kann jede beliebige Temperatur im Bereich von +15 bis -25 °C automatisch konstant gehalten werden. Beim Öffnen der Laderaumtüren wird die Anlage durch Türkontakte außer Betrieb gesetzt. Zusätzlich kann die Sprühautomatik durch einen Nottaster innerhalb des Laderaumes ausgeschaltet werden, wodurch in der Fahrerkarbine ein Summersignal ausgelöst wird.

Die Tankvorrichtung ist von außen zugänglich und befindet sich unterhalb der Bodenplatte des Isolierkoffers. Gas- und Flüssigkeitsleitung werden durch Handventile abgeschlossen, der Anschluß des Tankschlauches erfolgt durch Momentverschluß (Abb. 4)

Die Zeit für die Betankung mit Stickstoff beträgt ca. 10 Minuten. Die Kühlanlage ist danach sofort betriebsbereit, da die Ventile unter Druck geschlossen werden.

Zur Kontrolle des Behälterdruckes und der Laderaumtemperatur befinden sich an der Vorderwand des Isolierkoffers ein manometer und ein Fernther-

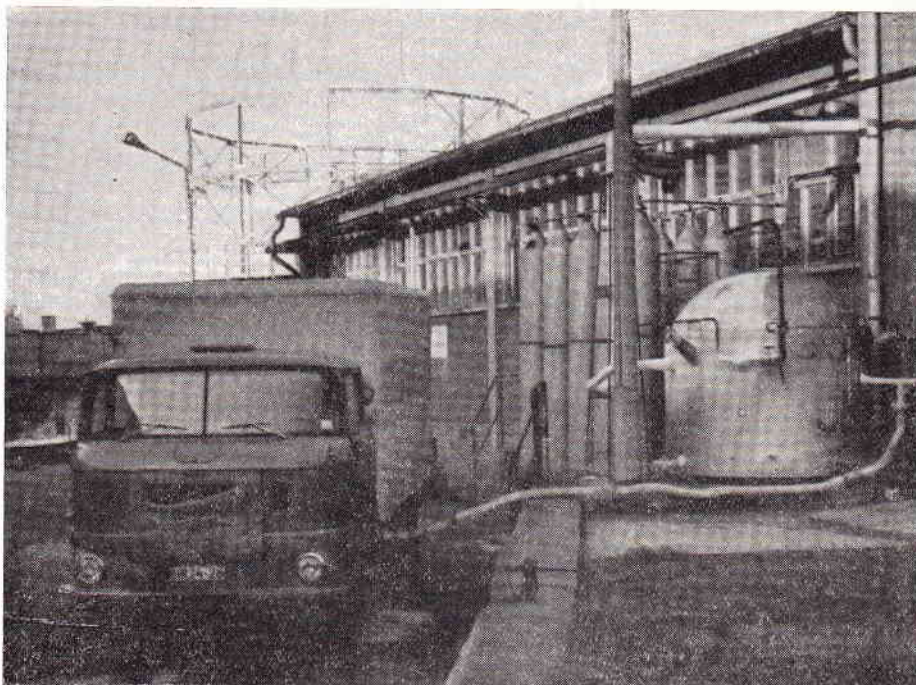


Abb. 4. Betankung des Versuchsfahrzeuges mit flüssigem Stickstoff

rometer. Die Füllung des Stickstoffbehälters kann von der Fahrerkabine durch eine elektrische Füllstandsanzeige in den Stellungen leer, $\frac{1}{4}$ -, $\frac{1}{2}$ -, $\frac{3}{4}$ und voll abgelesen werden. Ebenfalls in der Fahrerkabine angeordnet ist die Zuschaltung der Sprühautomatik sowie eine Kontrollleuchte für das Arbeiten des Magnetventils (Abb. 5).

Die Stromversorgung der Anlage erfolgt durch die Fahrzeugbatterie. Das Betriebsgewicht der Anlage beträgt ca. 320 kg.

Erprobung in der Praxis

Das Versuchsfahrzeug mit der eingebauten Stickstoffkühlanlage wurde von Mai bis November 1967 unter praktischen Bedingungen erprobt. Insgesamt sind ca. 30.000 km bei Temperaturen im Bereich von 0 bis -20°C gefahren worden. Zur Ermittlung wirtschaftlicher Parameter wurden sowohl Fernfahrten als auch Stadtauslieferungen durchgeführt.

Während der Betriebszeit des Kühlfahrzeuges ergaben sich an der eingebauten Kälteanlage keinerlei Störungen. Die ausgeführte Behälterkonstruktion und Befestigung im Fahrzeug hat sich unter hoher dynamischer Belastung beim Befahren schlechter Wegstrecken bewährt. Die Funktion der eingebauten elektrischen Regel- und Kontrollanlage war einwandfrei und entsprach den sicherheitstechnischen Anforderungen.

Die Messung der Lufttemperatur im Laderaum ergab maximale Abweichun-



Abb. 5. Armaturenbrett des Versuchsfahrzeuges mit Bedienungs- und Kontrollgeräten für die Stickstoffkühlung

gen von $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Bei Kontrolle der Kühlguttemperatur wurden bei richtig eingestelltem Sollwert nach 24-stündiger Verweilzeit keine Temperaturänderungen gemessen (Voraussetzung: Sollwerttemperatur = Ladeguttemperatur).

Als Ergebnis der Erprobung des Versuchsfahrzeuges ergaben sich zusammengefaßt für die Stickstoffkühlung gegenüber der konditionellen Fahrzeugkühlung folgende Vor- und Nachteile:

1. Es kann unabhängig von der Außentemperatur jede beliebige Transporttemperatur gefahren werden.
2. Die Betriebstemperatur wird in ca. 5 Minuten erreicht. Dies ist besonders für Verteilerfahrzeuge vorteilhaft, allerdings auf Kosten des Stickstoffverbrauchs.
3. Das Gewicht und die Anlagekosten sind gegenüber der mechanischen Kühlung ca. 50 % niedriger.
4. Da außer dem Mengenventil keine beweglichen Teile vorhanden sind, ergeben sich geringe Unterhaltungskosten und eine einfache Bedienung.
5. Durch die Ausdehnung des Stickstoffs im Verhältnis 1 : 600 ergibt sich ohne zusätzlichen Aufwand eine gute Temperaturverteilung innerhalb des gesamten Laderaumes. Außerdem ist die Stickstoff-Atmosphäre als inertes Gas für Lebensmittel besonders geeignet.
6. Die Betriebskosten sind im wesentlichen vom Stickstoffpreis abhängig und liegen durch den in der DDR z. Zt. verhältnismäßig hohen Preis bedeutend über denen der mechanischen Kühlung.

7. Der Betrieb von stickstoffgekühlten Fahrzeugen ist abhängig vom Tankstellennetz für flüssigen Stickstoff.

Stickstoffverbrauch

Der Stickstoffverbrauch des Kühlfahrzeuges setzt sich zusammen aus dem Verbrauch für die Vorkühlung des Thermoskoffers, dem Verbrauch für die Kälteverluste und dem Verbrauch für die einzelnen Türöffnungen. Die in den nachstehenden Diagrammen angegebenen Verbrauchszahlen sind Ergebnisse aus der praktischen Erprobung des Fahrzeuges und gelten nur für das verwendete Versuchsfahrzeug Typ W 50 L.

Der Verbrauch für die Vorkühlung beinhaltet die Temperaturabsenkung des Luftvolumens vom Laderaum, der Inneneinbauten und der Isolierung bis zum Eintreten des Beharrungszustandes. Die erforderliche Stickstoffmenge ist aus dem Diagramm Abb. 5 ersichtlich. Dabei wird die auf der Abszisse aufgetragene Temperaturdifferenz aus der Innentemperatur des Laderaumes vor Be-

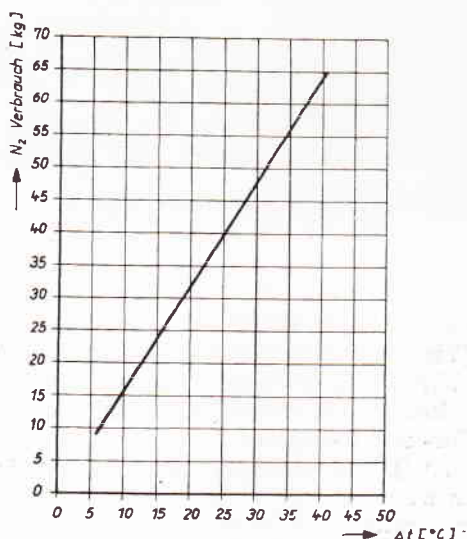


Abb. 6. Stickstoffverbrauch für die Vorkühlung in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz

ginn und der eingestellten Sollwerttemperatur gebildet. Bei laufendem Betrieb ohne Leerfahrten und Standzeiten entfällt der Stickstoffverbrauch für die Vorkühlung.

Die Kälteverluste nach Erreichen des Beharrungszustandes sind abhängig von der k-Zahl des Thermoskoffers und den Verlusten durch den Druckausgleich beim Sprühen zwischen Laderaum und Atmosphäre.

Im Diagramm Abb. 6 ist der Stickstoffverbrauch pro Stunde Betriebszeit in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen dem Sollwert des Laderaumes und der Außentemperatur aufgetragen. Der progressive Anstieg der Verbrauchskurve ist darauf zurückzuführen, daß bei höheren Temperaturdiffe-

renzen durch kürzere Sprühintervalle die Kälteverluste, die durch den Druckausgleich zwischen Laderaum und Atmosphäre entstehen, größer werden. Die Verbrauchskurve gilt unter der Bedingung, daß die eingestellte Sollwerttemperatur der Kühlguttemperatur entspricht. Ist die Sollwerttemperatur niedriger als die Ladeguttemperatur, so erhöht sich der Stickstoffverbrauch wesentlich.

Ein zusätzlicher Stickstoffverbrauch tritt bei einer Öffnung der Laderaumtür durch den entstehenden Wärmeeinbruch auf. Die für den Ausgleich der Türöffnung erforderliche Stickstoffmenge ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Laderaum- und Außentemperatur und der Türöffnungszeit. Im Diagramm Abb. 7 wurde der Stickstoffverbrauch für eine Türöffnung bei einer Öffnungszeit von 5 bzw. 15 Minuten aufgetragen.

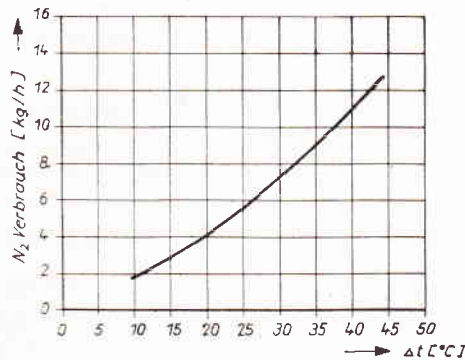


Abb. 7. Stickstoffverbrauch für die Deckung der Kälteverluste nach Erreichen des Beharrungszustandes in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz

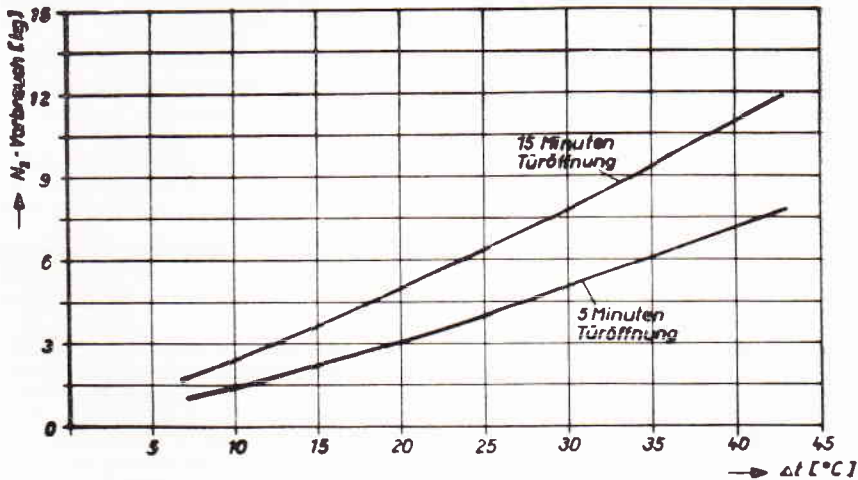


Abb. 8. Stickstoffverbrauch für eine Türöffnung in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz und der Öffnungszeit

Bei Stadtfahrten hat sich im industriellen Einsatz gezeigt, daß die Entladestellen oftmals weniger als 5–8 Minuten Fahrzeit auseinanderliegen. Für diesen Fall ist es aus Gründen der Wirtschaftlichkeit zweckmäßig, 2 oder 3 Türöffnungen zu einer Türöffnung zusammenzufassen, d. h. die Automatik der Kälteanlage wird für diese Zeit ausgeschaltet. Meßbare Änderungen der Ladeguttemperatur wurden bei dieser Methode, die eine wesentliche Stickstoffeinsparung bringt, nicht festgestellt.

Zusammenfassung

Die technische und technologische Erprobung des Verfahrens der Stickstoffkühlung von Straßenfahrzeugen mit dem Versuchsfahrzeug W 50 L ist positiv verlaufen.

Damit wurden die Voraussetzungen für die industrielle Nutzung des Verfahrens geschaffen. Das rege Interesse der einschlägigen Industrie sowie der Bedarf an gekühlten Transportfahrzeugen rechtfertigen die technische Weiterentwicklung der Flüssiggaskühlanlage mit dem Ziel einer Serienproduktion. Die preisliche und technische Entwicklung auf dem Gebiet der Stickstoffherzeugung begünstigt ebenfalls die industrielle Nutzung von flüssigem Stickstoff für die Transportkühlung.

Auf Grund der praktischen Erfahrungen beim Betrieb des Versuchsfahrzeuges ist für kleinere Fahrzeugtypen die Unterfluranordnung des Stickstoffbehälters zu empfehlen. Außerdem erscheint es zweckmäßig, den Stickstoffbehälter mit einer Pulver- oder Wickelisolierung (Supra-Isolierung) auszuführen. Um die Temperaturschwankungen im Laderaum auf ein Minimum zu begrenzen, ist es vorteilhaft, die ausgeführte Aus-Ein-Regelung für das Versprühen des Stickstoff durch eine P- oder PID-Regelung möglichst ohne fremde Hilfsenergie zu ersetzen.

Für den Bau von Kühlkoffern, die mit Flüssiggaskühlanlagen ausgerüstet werden sollen, muß der Wärmedurchgangszahl besondere Beachtung geschenkt werden. Zur Einsparung von Betriebskosten sind Werte von $k \approx 0,2 \text{ kcal/}^2\text{h}^\circ$ anzustreben. Für ausgesprochene Verteilerfahrzeuge ist eine Aufteilung des Laderaumes in mehrere Zellen zu empfehlen.

Chladienie dopravníkov tekutým dusíkom

Súhrn

Vo Forschungsinstitut für die Kühl- und Gefrierwirtschaft (v chladiarenskom výskumnom ústave) v Magdeburgu vyvinuli chladiace zariadenie s tekutým dusíkom, ktorým vybavili sériový dopravník, typ W 50 L. Technické a technologické skúšky s týmto zariadením boli pozitívne a sú splnené predpoklady pre sériovú výrobu a jeho priemyselné využitie. Na základe praktických skúseností v prevádzke sa pre menšie dopravníky odporúča podlažné umiestnenie nádrže pre dusík. Okrem toho je účelné nádrž vybaviť Supra-izoláciou.

Popis zariadenia. Výhody tohto spôsobu chladienia.

Spotreba dusíka.

Охлаждение и транспортировочное о оборудование на жидкий азот

Выводы

В Магдебурге развили холодильное оборудование на жидкий азот, которым снарядили серийный конвейер типа W 50 L. Технические а технологические испытания с этим оборудованием были положительны и тем выполнены предпосылки для серийного производства и его использования. На основании практических опытов в эксплуатации для небольших конвейеров рекомендуется этажное размещение резервуара для азота. Кроме того является целесообразным устроить его Сигра-изоляция. Описание оборудования. Выгоды этого способа охлаждения, расход азота.

Zo zahraničnej literatúry

Účinek zmrazovacej metódy na krehkosť mrazeného a lyofilizovaného kuracieho mäsa (The Effect of the Freezing Method on Tenderness of Frozen and Freeze-dried Chicken Meat).

Skúmal sa účinok zmrazovacích metód na krehkosť mrazeného a lyofilizovaného upraveného porcovaného kuracieho mäsa. Zisťovali sa prispôsobené Kramerove hodnoty u rozmrazených a rehydrovaných lyofilizovaných vzoriek. Počas jednoznačného skladovania sa nenašli významné rozdiely v týchto hodnotách. Na báze zmrazenia boli hodnoty u produktov zmrazených prúdením vzduchu značne vyššie ako u produktov zmrazených tekutým dusíkom alebo CO_2 . Priemerné hodnoty u nelyofilizovaného produktu boli väčšie ako u lyofilizovaného. Na vysvetlenie zistených rozdielov treba ďalej skúmať rýchlozmrazovacie a lyofilizačné procesy po stránke ich vzájomného pôsobenia.

Quick froz. Foods. 30, 1967, VIII, č. 1, s. 39–40.

Čas – teplota – tolerancia u mrazených mäsových výrobkov (Time – Temperature – Tolerance of Frozen Meat Products).

V dánskom Výskumnom laboratóriu pre mäsové výrobky skúmali úchovu kvality mnohých priemyselne vyrábaných výrobkov pri -9 , -12 , -18 a -24°C . Zistili, že akosť sa uchová lepšie u výrobkov z hovädzieho mäsa ako u výrobkov z bravčového mäsa a tiež, že sa dlhšie môžu skladovať hotové jedlá pokryté omáčkou. Stabilita chutnosti niektorých výrobkov bola pri teplote -9°C 2–5 mesiacov, pri -12°C 3–10 mesiacov, nad 7 mesiacov pri -18°C a nad 10 mesiacov pri -24°C , ale prijateľnosť týchto výrobkov spotrebiteľmi bola 2 až 3 razy vyššia. Aj pri 600-dňovom skladovaní sa nemenila konzistencia a vzhľad mäsových výrobkov.

Frozen Foods, 20, 1967, č. 12, s. 19.

Mraziarenský sklad v konečnej montáži (Tiefkühlager in Fertigbau).

Stále častejšie sa stavajú jednoposchodové chladiarne a upúšťa sa od viacposchodových stavieb. Rozhodujú tu dopravnotechnické dôvody (železničný prípoj, nakladacia rampa, použitie vidlicového vozíka). V jednoposchodových chladiarňach sú dopravné náklady o 54 % nižšie ako vo viacposchodových. Pri výstavbe sa vo zvýšenej miere používajú hotové konštrukcie zo železobetónu alebo ocele (normované stavebné haly), na ktoré sa pripoja izolačné prvky veľkého formátu. Tento spôsob stavby značne skracuje čas montáže a pri prípadnom neskoršom rozšírení nie je ťažké pristávať k už existujúcej hale ešte jednu. Na ochranu proti stratám chladu sa bočné steny a povala obkladajú prefabrikovanými veľkými stavebnými dielcami z penovej hmoty „Corblanit-SE“, ktorá je ťažko zápalná. Vnútorne steny chladiarne sú vystlané tvarovanými plechmi chránenými proti korózii a odolnými voči nárazom.

Tiefkühl-Praxis, 8, 1967, č. 4, s. 335.