

STAN OBECNY I KIERUNKI ROZWOJU INŻYNIERII KRIOGENICZNEJ W POLSCE

Stanisław Augustynowicz

Centralne Laboratorium Chłodnictwa w Łodzi, Oddział w Warszawie

Od około dwóch wieków wysiłki wielu badaczy szły w kierunku skroplenia, a później zestalenia gazów, które w przeszłości uznane były jako niezmiennie w różnych zakresach temperatur. Około r. 1790 w Haarlem, Van Marum skrapla amoniak. Michał Faraday celem skroplenia chloru, kwasu solnego i dwutlenku węgla stosuje temperatury -120°C i ciśnienia dochodzące do 120 atmosfer. Stosując kaskadowe metody obniżenia temperatury wg Pieteta, Wróblewski i Olszewski w 1883 r. w Zakładzie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego skraplają powietrze, tlen i azot. W r. 1884 Olszewski skrapla wodór w niewielkich ilościach, zaś w r. 1898, Dewar, w Royal Institution w Londynie skrapla wodór na większą skalę. Ostatnim ze skroplonych gazów był hel, czego dokonał Canes w Lejdzie w r. 1908. Celem zestalenia ciekłego helu badacz polski Wolfke w 1924 r. zaproponował, aby oprócz obniżenia temperatury ciekłego helu przez odpompowanie gazu znad lustra cieczy, zastosować odpowiednie ciśnienia. Idea ta została zrealizowana w 1926 r. przez Keosoma w Lejdzie. Okazało się wtedy, że hel nie posiada punktu potrójnego.

W badaniach nad niskimi temperaturami wielkie zasługi położyli badacze polscy wymienieni uprzednio, jak również Witkowski, Zakrzewski, Skłodowska-Curie, Wierusz Kowalski i wielu innych [16].

Niektóre dziedziny nauk technicznych rozwijają się w sposób bardzo gwałtowny, a wśród nich technika i technologia kriogeniczna. Rozwój ten uzależniony jest od postępu technicznego odbywającego się w:

— przemyśle metalurgicznym i chemicznym, gdzie rozwój tych przemysłów uzależniony jest od dostaw gazów przemysłowych, a szczególnie tlenu i argonu,

— badaniach przestrzeni kosmicznej, gdzie duże ilości ciekłego tlenu i ciekłego wodoru zużywane są jako utleniacz i paliwo do rakiet oraz wraz z innymi cieczami kriogenicznymi służą do badań poszczególnych systemów rakiety i jej części,

— podstawowych badaniach fizykochemicznych, które przeprowadzano w dziedzinie promieniotwórczości, nadprzewodnictwa materiałów czystych i stopów oraz innych zjawisk zachodzących w niskich temperaturach, otwierają przed człowiekiem nowe dziedziny otrzymywania energii, jej przesyłania i zużytkowania.

STOSOWANIE CIECZY KRIOGENICZNYCH I INŻYNIERII KRIOGENICZNEJ W MEDYCYNIE, BIOLOGII I PRZEMYSŁE SPOŻYWCZYM

Podstawowym problemem nowoczesnego rozwoju medycyny jest możliwość posiadania odpowiednich zapasów krwi. Tradycyjne metody przechowywania w temperaturach od 0 do -30°C w zależności od stosowanego płynu fizjologicznego, pozwalają na przechowywanie krwi przez okres kilku tygodni [13]. W tym okresie krew musi być zużytkowana, gdyż w przeciwnym wypadku ulega zniszczeniu. Jedyną obecnie metodą, która zapewnia przeżywalność krwi po okresie kilkuletnim jest jej konserwacja w temperaturach zbliżonych do temperatury wrzenia ciekłego azotu to jest -196°C . Stosując ten system można zorganizować banki krwi zapewniające dostawy odpowiednich grup i podgrup krwi ludzkiej. Oczywiście jest, że problem ten oprócz względów ekonomicznych posiada olbrzymi aspekt ogólnoludzki.

Technika niskich temperatur w oparciu o ciekły azot jako czynnik chłodzący i zamrażający, znajduje zastosowanie w nowoczesnej chirurgii przy operacji oka, mózgu, narządów kobiecych, w neurologii, urologii, laryngologii itp.

Rozwój sztucznego unasieniania jak i konserwacja materiałów pochodzenia zwierzęcego jest nie do pomyślenia bez zastosowania ciekłego azotu [1, 14, 20]. Metoda stosowania zamrożonego nasienia w inseminacji bydła jest w chwili obecnej tak rozpowszechniona, że można o niej mówić w skali przemysłowej. Według danych Huggenbergera [14] przybliżona ilość sztuk bydła unasieniona nasieniem mrożonym w stosunku do ogólnej ilości unasienionych krów wynosi dla Europy ok. 60%. Proces ten, który w Europie rozpoczął się w r. 1963 jest tak szybki, że należy się liczyć z tym, iż za kilka lat stosować się będzie w inseminacji bydła wyłącznie nasienie mrożone.

Stosowanie ciekłego azotu do zamrażania produktów spożywczych posiada wiele cech dodatnich z punktu widzenia technologicznego i ekonomicznego [7, 8, 10-12, 15, 17-19, 21, 22]:

- formowanie się małych kryształów lodu wewnątrz komórek,
- zmniejszenie strat na masie produktu wskutek odwodnienia,
- zredukowanie w sposób zasadniczy czasów zamrażania,
- zahamowanie procesów oddychania,
- polepszenie smaku, struktury, zapachu i brak starzenia w przypadku zamrażania produktów piekarniczych,

- wyeliminowanie procesu wstępnego wychładzania produktu,
- możliwość wykonywania urządzeń w postaci jezdnej, a tym samym ich praca w terminie (pola, nabrzeża portowe).

Przeprowadzone próby udowodniły celowość stosowania tego systemu dla takich produktów jak: maliny, grzyby, wiśnie, kukurydza, gruszki, filety z ryb, brzoskwinie, drób i mięso w kawałkach, truskawki, ostrygi, zielona fasola, krewetki, produkty piekarnicze. W systemie tym można zamrażać produkty takiego kształtu i o takiej masie aby nie następowało ich niszczenie wskutek wzrostu ciśnienia wewnętrznego.

Ekonomika omawianej techniki uzależniona jest z jednej strony od dostaw odpowiednich ilości po niskiej cenie ciekłego azotu, a z drugiej strony od konstrukcji układów tunelowych do zamrażania produktów. Prace projektowe, konstrukcyjne i naukowo-badawcze prowadzone w tym zakresie w Polsce przez autora, miały na celu wykonanie prototypowego urządzenia laboratoryjnego typu tunelowego dla zamrażania wybranych produktów za pomocą ciekłego azotu [9].

STOSOWANIE CIECZY KRIOGENICZNYCH I INŻYNIERII KRIOGENICZNEJ W URZĄDZENIACH SPECJALNYCH

PROCESY TECHNOLOGICZNE

Jedną z metod nowoczesnej technologii pasowania części metalowych na wcisk jest chłodzenie do bardzo niskich temperatur elementu wciskanego, który po włożeniu do części z nim współpracującej i wyrównaniu się temperatur zapewnia prawidłowe połączenie w normalnych warunkach pracy. Dotychczas przy głębokim chłodzeniu części metalowych używano przeważnie suchego lodu. Suchy lód nie może zapewnić tych własności cieplnych urządzenia do chłodzenia części metalowych jak ciekły azot, ze względu na wyższą temperaturę sublimacji i trudność otrzymania prawidłowego, jednorodnego rozkładu temperatury wewnątrz urządzenia schładzającego. Ten system technologiczny, w stosunku do obecnie stosowanych metod pasowania na gorąco, nie wymaga projektowania i wykonywania dodatkowego oprzyrządowania, nie stwarza niebezpieczeństwa wyboczenia przedmiotu podczas jego grzania, zapobiega możliwości utlenienia powierzchni elementu (obojętna atmosfera azotowa), skraca czas operacji oraz jest łatwiejszy, czystszy i bezpieczny w stosowaniu.

BADANIE PRZESTRZENI KOSMICZNEJ

Dla uzyskania napędu rakiet stosuje się ciekły tlen i ciekły wodór. Dla przeprowadzenia badań kosmonautów w warunkach imitujących przestrzeń kosmiczną, konstruuje się i buduje specjalne komory posiadające odpowiednie wartości temperatury, ciśnienia i wilgotności. Celem

uzyskania temperatur przestrzeni kosmicznej stosuje się ciekły azot, ciekły wodór i ciekły hel, a dla uzyskania odpowiednich wartości ciśnienia kosmicznego (dochodzącego do wartości 10^{-16} tora) stosuje się kriopompy, gdzie resztki gazu wymrażane są ciekłym wodorem.

Do celów meteorologicznych używane są radiosondy wypuszczane na pewne wysokości nad ziemię przy pomocy balonów. Podają one drogą radiową wartości wilgotności, temperatury i ciśnienia. Wraz z wysokością zmieniają się warunki otoczenia danej radiosondy i stąd wynika konieczność korelacji impulsów przekazywanych na ziemię w stosunku do wartości rzeczywistych temperatury, wilgotności i ciśnienia. Dla cechowania takich aparatów w różnych zakresach temperatur do ok. -100°C , przy założeniu dużej dokładności pomiarów do $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, wykonuje się tego rodzaju aparaty chłodzone ciekłym azotem. Urządzenie takie zostało zaprojektowane przez autora i wykonane w Zakładach Elektronicznych Warel w Warszawie.

ELEKTROMAGNESY NADPRZEWODNIKOWE [16]

Wiele uwagi poświęca się obecnie technologii otrzymywania materiałów nadprzewodzących, zdolnych do przesyłania prądów elektrycznych o dużej gęstości bez strat na wytwarzanie ciepła Joula. Takie materiały nadprzewodzące mogą być między innymi użyte do wykonania uzwojeń elektromagnesów dających bardzo silne pola do 100 KCe. Elektromagnesy nie rozpraszają mocy, nie wymagają kosztownych urządzeń zasilających ani urządzeń usuwających rozproszoną energię. Do działania wymagają chłodzenia ciekłym helem. Znajdują one zastosowanie w dziedzinie fizyki jądrowej i fizyce plazmy, do mazerów jako soczewki w mikroskopach elektronowych o dużej zdolności rozdzielczej itp.

URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE I ELEKTRONICZNE

Jak wspomniano, nadprzewodniki dzięki brakowi oporności w odpowiednio niskich temperaturach nie rozpraszają mocy, co w sposób decydujący wpływa na wielkość strat. Prawie wszystkie urządzenia elektroniczne i maszyny elektryczne mogą być udoskonalone przy wykorzystaniu tego zjawiska. Oprócz polepszania ich sprawności, stosowanie nadprzewodników pozwala na zmniejszenie ich wymiarów gabarytowych. Przez przewody o przekroju 1 mm^2 odpowiedniego materiału nadprzewodnikowego można przesyłać bez strat prąd o natężeniu do 1000 amperów. Ostatnio ukazują się coraz częściej projekty kabli nadprzewodnikowych oraz projekty transformatorów i generatorów z uzwojeniami nadprzewodzącymi, chłodzonymi ciekłym helem lub ciekłym wodorem.

Temperatury cieczy kriogenicznych znajdują też zastosowanie w bardzo czułych detektorach (np. odbiór odbitych fal radiowych od sztucznych satelitów), w łożyskach beztarciowych (np. nadprzewodzące giro-

skopy), w przełącznikach i wzmacniaczach oraz w maszynach cyfrowych — kriotrony, które są czwórnkami skonstruowanymi z dwu nadprzewodzących warstw, w których płynący prąd w obwodzie wejściowym steruje prąd obwodu wyjściowego.

STOSOWANIE CIEKŁEGO AZOTU W TRANSPORCIE CHŁODNICZYM

Metoda chłodzenia ciekłym azotem wewnątrz pojazdów chłodniczych cieplnie izolowanych (samochodów, wagonów kolejowych), polega na umieszczeniu w nich zbiornika izolowanego (przeważnie superizolacją), w którym znajduje się ciekły azot i regulowaniu przez układ zasilająco-termoregulacyjny wielkości i ilości wtrysków cieczy do wnętrza pojazdu. Krople cieczy odparowujące we wnętrzu pojazdu pobierają ciepło od otoczenia i obniżają temperaturę do nastawionej na termometrze.

Podstawowe parametry pracy, systemy zasilania i termoregulacji zostały przez autora omówione w publikacjach poprzednich [2-5]. Podstawowymi zaletami stosowania ciekłego azotu w transporcie chłodniczym w porównaniu z tradycyjnymi systemami (agregaty mechaniczne, suchy lód) są czynniki podane niżej [6]:

— mniejsze o ok. 50% koszty inwestycyjne w porównaniu z urządzeniami chłodniczymi typu mechanicznego,

— prostota budowy instalacji LN_2 oraz możliwość jej stosowania w każdym środku transportu chłodniczego bez zmian konstrukcyjnych,

— brak części ruchomych w instalacji (oprócz zaworu elektromagnetycznego) wyklucza awarie mechaniczne i ogranicza praktycznie do zera koszty konserwacji,

— łatwy i szybki sposób napełniania zbiorników umieszczonych wewnątrz nadwozia w ciekły azot,

— możliwość stosowania omawianej techniki dla zakresu temperatur powyżej i poniżej $0^\circ C$ bez potrzeby zmian instalacji chłodniczej,

— pełna automatyzacja urządzenia chłodniczego,

— zmniejszenie ogólnych strat cieplnych w związku z likwidacją wentylatorów wewnątrz nadwozia oraz uzyskania w nadwoziu pewnego nadciśnienia (ok. $0,2 \text{ kg/cm}^2$); nadciśnienie to powoduje likwidację wymiany tej ilości ciepła i masy, która występuje w tradycyjnych środkach transportowych,

— brak konieczności odszraniania parowników, których brak w instalacji LN_2 ,

— zmniejszenie zawilgocenia izolacji nadwozia,

— stałość i jednolitość rozkładu temperatury w poszczególnych częściach nadwozia chłodzonego, co przy użyciu lodu wodnego lub suchego jest nie do uzyskania, a w przypadku agregatów mechanicznych nie z taką dokładnością,

— wyeliminowanie różnych, kłopotliwych problemów związanych

z wstępnym wychładzaniem wnętrza nadwozia; instalacja azotowa umożliwia uzyskanie prędkości chłodzenia w granicach od 20°C/min do 40°C/min,

— możliwość dokładnego wypełnienia ładunkiem przestrzeni wewnętrznej nadwozia bez potrzeby pozostawiania wolnych miejsc między przewożonymi produktami oraz wyeliminowanie kanałów rozprowadzających powietrze w przypadku stosowania agregatów mechanicznych,

— zmniejszenie ogólnej masy instalacji chłodniczej razem z chłodziwem przez wyeliminowanie dodatkowych ilości lodu wodnego lub suchego (wstępne wychładzanie, powierzchnia wymiany ciepła, współczynnik bezpieczeństwa),

— możliwość wykorzystania pozostałego nieużytego ciekłego azotu na poprzednich trasach,

— jałowa, obojętna atmosfera azotu panująca w przestrzeni chłodzonej, co w pewien sposób wpływa na zmniejszenie ubytków masowych przewożonych produktów.

Każdy system chłodzenia oprócz dodatnich posiada też zjawiska ujemne, do których w tym wypadku należą:

— koszt ciekłego azotu, który w sposób decydujący wpływa na ekonomikę eksploatacji,

— zapewnienie odpowiedniej ilości różnych zbiorników metalowych typu dewara do montowania ich wewnątrz nadwozia (o pojemnościach do 200 l),

— budowa stacji dystrybucji ciekłego azotu na terenie danego kraju.

Wymienione powyżej elementy powodują, że system chłodzenia ciekłym azotem staje się właściwie nieporównywalny z jakimkolwiek innym dotychczas stosowanym. Porównawczy koszt chłodzenia odniesiony do 1 kcal przestaje być do pewnego stopnia miarodajny wobec tylu dodatków i nader istotnych korzyści technicznych i technologicznych.

Metoda stosowania ciekłego azotu w transporcie chłodniczym po raz pierwszy została zastosowana przez amerykańską firmę Union Carbide Corp., pod nazwą Polarstream. Instalacja zaopatrzona jest w zbiornik z superizolacją, zabezpieczający ciecz przed odparowaniem oraz przewidziany ze względów wytrzymałościowych do pracy wewnątrz środka transportowego.

Ilości środków transportu chłodniczego na ciekły azot oraz ilość stacji napełniania w poszczególnych państwach w Europie przedstawia tabela 1. Podane wielkości obejmują stan na grudzień 1967 r. W tym samym okresie w USA było ok. 6000 jednostek na ciekły azot wliczając w to samochody, naczepy, wagony kolejowe i kontenery. Ocenia się, że w grudniu 1969 r. znajdowało się w Europie ok. 1700 jednostek, a w USA ok. 8600.

Tabela 1

Przybliżony stan ilości pojazdów z instalacją Polarstream oraz stacji napełniania — XII 1967 (wg Union Carbide Europa)

Kraj	Ilość jednostek transportowych	Ilość stacji napełniania
Anglia	300	18
Francja	300	76
NRF	300	34
Holandia	130	8
Belgia	50	12
Dania	50	4
Szwecja	50	5
Włochy	30	14
Finlandia	20	2
Szwajcaria	20	6
Hiszpania	10	4
Austria	7	3
Norwegia	2	3
Jugosławia	—	2

ZBIORNIKI NA CIECZE KRIOGENICZNE

Podstawą prawidłowego działania wszystkich instalacji związanych z zastosowaniem ciekłego azotu są zbiorniki na ciekły azot. Zbiorniki te ogólnie rzecz biorąc używane są jako centralne pojemniki cieczy w zakładach produkujących ciecze kriogeniczne, jako zbiorniki dystrybucyjne służące do przewozu cieczy z zakładu produkcyjnego do punktów rozdzielczych, jako zbiorniki służące do przechowywania i transportu cieczy kriogenicznej w poszczególnych instytucjach użytkujących oraz jako naczynia służące do bezpośredniego przechowywania produktu w temperaturze ciekłego azotu lub w temperaturach zbliżonych. Ze względu na dużą różnicę temperatur między wnętrzem zbiornika a otoczeniem, dla uniknięcia szybkiego odparowania cieczy kriogenicznej a tym samym uzyskania maksymalnego czasu przechowywania tej cieczy wewnątrz zbiornika, stosowana jest odpowiednia izolacja cieplna zbiorników. Izolacje te mogą być trojakiemu rodzaju:

- próżniowe,
- proszkowo-próżniowe,
- włóknisto-próżniowe (superizolacja).

Każdy ze sposobów izolacji może zapewnić taką samą wielkość strat na odparowanie, z tym że procesy technologiczne i efektywność ekonomiczna dla poszczególnych sposobów są różne.

Izolacja próżniowa wymaga stosowania próżni w przestrzeni między płaszczyznami zbiornika w granicach 10^{-6} tora. Uzyskanie tej próżni uzależ-

nione jest od stosowania odpowiednio wydajnych układów pomp dyfuzyjnych i rotacyjnych, stosowania odpowiednich materiałów pod względem wytrzymałościowym i porowatości na płaszcze zbiorników, stosowania wysokoszczelnej metody spawania oraz sprawdzania szczelności zbiornika odpowiednio czułymi aparatami. Przy izolacji próżkowo-próżniowej oprócz warunków podanych wyżej, należy stosować materiały próżkowe o jednakowych wymiarach, niehygroskopijne, z tym, że ciśnienie w przestrzeni izolującej może wynosić ok. 10^{-2} tora.

Wydaje się, że najlepsze rezultaty obniżenia strat ciepłych zbiorników tak pod względem technologicznym, jak i eksploatacyjnym, uzyskuje się przy stosowaniu superizolacji. Metoda ta polega na wypełnianiu przestrzeni między płaszciami zbiornika wielu ekranami z równoczesnym obniżeniem ciśnienia do wielkości ok. 10^{-3} tora. Ekranami te stanowią folie z tworzyw sztucznych lub metali, nawijane na zewnętrzną powierzchnię wewnętrznego płaszcza zbiornika. Prawidłowo wykonany zbiornik dewara powoduje odparowanie ciekłego azotu w ciągu doby w ilości ok. 2% swojej objętości dla małych zbiorników (do 200 litrów) i ok. 1,5% dla dużych (zbiorniki stojące i leżące do stacjonarnego przechowywania cieczy).

Przemysł polski nie produkuje i nie przewidziana jest produkcja w najbliższym czasie zbiorników na ciecze kriogeniczne. Wydaje się zresztą, że podjęcie tych decyzji musi być uzależnione od wnikliwej analizy ekonomicznej celowości inwestycji oraz integracji produkcji w krajach RWPG. Należy pamiętać, że ogólna ilość zbiorników metalowych typu dewara, o pojemnościach od 5 do 200 litrów — zamknie się liczbą kilku tysięcy i jest wielkością skończoną. Po wyprodukowaniu tej ilości zbiorników, zakład wytwórczy może produkować na eksport oraz regenerować sprzęt uprzednio wytworzony.

UŻYTKOWANIE ZBIORNIKÓW NA CIECZE KRIOGENICZNE

Poszczególni producenci sprzętu kriogenicznego udzielają różnych gwarancji na zbiorniki do ciekłego azotu, która w zależności od jakości produktu wynosi od 1 roku do 10 lat. W czasie okresu gwarancyjnego firma w zasadzie wymienia uszkodzony zbiornik dając za pewną opłatą nowy. Po pewnym czasie użytkowania zbiornika jakość izolacji cieplnej ulegnie pogorszeniu, a tym samym straty dobowe odparowania cieczy wzrosną powyżej nominalnej. Każdy zbiornik przeznaczony do przechowywania cieczy kriogenicznej, powinien być przez użytkownika cechowany w tych samych warunkach, z chwilą jego zakupu oraz co pewien określony czas, np. co trzy miesiące. Użytkownik winien posiadać kartę charakterystyki zbiornika, na której należy nanosić straty dobowe odparowania cieczy i porównywać ją z wartością nominalną.

Naprawy uszkodzonych zbiorników winny być przeprowadzone przez specjalistów. Niestety, do chwili obecnej nie posiadamy w Polsce war-

sztatu specjalizującego się w tej dziedzinie prac. Pewne próby podjął Instytut Niskich Temperatur PAN we Wrocławiu, gdzie w sposób laboratoryjny naprawiane są małe zbiorniki metalowe o pojemności kilkadziesiąt litrów. Wydaje się celowe i konieczne utworzenie warsztatu specjalistycznego, którego celem będzie regeneracja zbiorników metalowych typu dewara, dla wszystkich użytkowników w Polsce. Regeneracja ta w sposób ogólny polega na rozlutowaniu zbiornika, ewentualnym wyprostowaniu płaszczy zbiornika, zmianie sorbenta, powtórny montaż i pompowaniu próżni pompami rotacyjnymi i dyfuzyjnymi. Należy zwrócić uwagę użytkowników zbiorników na zapewnienie podstawowych warunków bezpieczeństwa pracy z ciekłym azotem.

PRODUKCJA CIEKŁEGO AZOTU

Produkcją ciekłego azotu w Polsce zajmują się Gazy Techniczne, których centrala znajduje się w Gliwicach. Niektóre z zakładów podległych temu przedsiębiorstwu, oprócz produkcji różnych czynników w postaci gazowej, produkują azot w postaci ciekłej. W tabeli 2 przedstawiono przybliżoną wartość produkcji ciekłego azotu przez to przedsiębiorstwo. Oprócz tej produkcji pewne ilości, czasami nawet dosyć znaczne, dostarczane są na rynek z zakładów chemicznych, jak np. Nowa Huta, Tarnów, Kędzierzyn itd. Przy dużych zakładach przemysłowych (np. Zamech, Huta Warszawa) istnieją tlenownie, które mogą dostarczyć ciekły azot w małych ilościach. Mówiąc o źródłach ciekłego azotu nie można pominąć możliwości przyszłościowych. Do nich niewątpliwie należą bogate złoża gazu ziemnego na południu Polski, gdzie w naturalnych zbiornikach podziemnych znajduje się mieszanina azotu z metanem pod ciśnieniem ok. 130 atmosfer [11]. Próbne odwierty wykazały, że średni skład procentowy azotu gazowego (zanieczyszczający metan) wynosi od 30% do 50%. Oprócz faktu, że uzyskany metan, gaz o dużej kaloryczności, może być użyty jako źródło paliwa, oddzielony azot jako produkt uboczny, skroplony, może stanowić olbrzymi potencjał chłodu.

Tabela 2

Produkcja ciekłego azotu w przedsiębiorstwach podległych Gazom Technicznym (dane przybliżone)

	Ilość produkcji w tonach					
	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Wytw. Warszawa	840	840	840	840	840	840
„ Koszalin	—	—	—	270	950	940
„ Pszczyna	—	—	—	—	540	1480
„ Mielec	—	—	—	—	—	940
„ woj. łódzkie	—	—	—	—	—	270
						4470

Szacuje się, że koszt uzyskanego w ten sposób ciekłego azotu mógłby wynosić kilkadziesiąt groszy loco użytkownik.

Obecny system dystrybucji ciekłego azotu w Polsce należy określić jako niezadowolający. System ten, polegający na indywidualnym pobieraniu w poszczególnych zakładach, przez poszczególnych odbiorców cieczy, przy pomocy własnych zbiorników, własnych lejków i własnego transportu mógł być stosowany kilka lat temu. Tylko nieliczni użytkownicy posiadają własne duże zbiorniki do przewozu i przechowywania w nich cieczy.

Wydaje się celowe aby w jak najbliższym czasie system dystrybucji ciekłego azotu uległ zasadniczym zmianom. W tym celu konieczne jest określanie potrzebnych ilości ciekłego azotu dla danych rejonów kraju, ustalenie w miejscach stosunkowo odległych od wytwórni cieczy punktów dystrybucji i wyposażenie ich w duże zbiorniki stacjonarne oraz doprowadzenie do tego, aby użytkownicy indywidualni pobierali ciekły azot w punktach dystrybucji do tego celu przeznaczonych.

UWAGI KOŃCOWE I KIERUNKI ROZWOJU

Wdrożenie stosowania inżynierii kriogenicznej przyniesie bezpośrednio korzyści gospodarce narodowej oraz będzie stanowić poważny bodziec przyspieszający rozwój techniki w różnych dziedzinach.

Istnieją obiektywne warunki, aby w r. 1975 szeroko wdrożyć w służbie zdrowia, przemyśle, rolnictwie, transporcie chłodniczym i placówkach naukowych stosowanie cieczy kriogenicznych. Dla rozwoju inżynierii kriogenicznej w Polsce wydaje się celowe, aby poszczególne resorty przeprowadziły następujące prace:

Ministerstwo Górnictwa i Energetyki:

- zbudowanie urządzeń do pozyskiwania ciekłego metanu, azotu i helu ze złóż gazu ziemnego,
- zagospodarowanie ciekłego metanu.

Ministerstwo Przemysłu Chemicznego:

- zorganizowanie sieci transportu i dystrybucji cieczy kriogenicznych,
- wytworzenie uzupełniających ilości ciekłego azotu,
- oczyszczenie i zagospodarowanie cieczy kriogenicznych uzyskiwanych z gazu ziemnego (ciekły azot i hel).

Ministerstwo Przemysłu Ciężkiego:

- podjęcie produkcji materiałów niezbędnych dla inżynierii kriogenicznej (stale i stopy),
- podjęcie w jednym z zakładów (np. w Zamechu) technologii pasowania na wcisk metodą głębokiego chłodzenia.

Ministerstwo Przemysłu Maszynowego:

- podjęcie w jednym z istniejących zakładów produkcji, lub zabez-

pieczenie importu urządzeń inżynierii kriogenicznej jak: zbiorniki do cieczy kriogenicznej, pompy do cieczy kriogenicznych, armatura, automatyka i urządzenia pomiarowe itp., oraz zorganizowanie przy takim zakładzie biura projektowo-konstrukcyjnego wraz z laboratorium badawczym,

— zorganizowanie centralnego warsztatu napraw i regeneracji metalowych zbiorników dewara.

Ministerstwo Zdrowia:

— powszechne wdrożenie stosowania ciekłego azotu do długoterminowego przechowywania produktów biologicznych.

Ministerstwo Rolnictwa:

— powszechne wdrożenie stosowania ciekłego azotu w sieci inseminacyjnej dla bydła.

Ministerstwo Przemysłu Spożywczego i Skupu:

— wdrożenie transportu chłodniczego w oparciu o ciekły azot,
— wdrożenie pilotowego urządzenia do zamrażania produktów spożywczych za pomocą ciekłego azotu.

Ministerstwo Żeglugi:

— wdrożenie pilotowej instalacji do zamrażania ryb ciekłym azotem w bazach i nabrzeżach portowych.

Ministerstwo Oświaty i Szkolnictwa Wyższego:

— zorganizowanie specjalizacji inżyniera kriogenika na jednej z politechnik.

PIŚMIENNICTWO

1. Augustynowicz S.: Zastosowanie temperatury -196°C w biologii. *Chłodnictwo* 3, 12, 278, 1968.
2. Augustynowicz S., Szmurło W.: Chłodnicza instalacja azotowa. Cz. II. *Chłodnictwo* 1, 3, 51, 1966.
3. Augustynowicz S.: Ciekły azot w chłodnictwie. *Chłodnictwo* 1, 2, 28, 1966.
4. Augustynowicz S.: Tests on the use of a liquid nitrogen cooling device in road transport and in cold rooms. *Anks* 3, 75, 1965. International Institute of Refrigeration.
5. Augustynowicz S., Szmurło W.: Uwagi dotyczące zastosowania ciekłego azotu w chłodniczym transporcie samochodowym. *Chłodnictwo* 2, 5, 114, 1967.
6. Augustynowicz S., Szmurło W.: Zamrażanie produktów spożywczych w ciekłym azocie. *Chłodnictwo* 3, 1, 7, 1968.
7. Augustynowicz S., Wengierow S.: Zagadnienia pozyskiwania i użytkowania ciekłego azotu w latach 1970-1975. Komitet Nauki i Techniki, Komisja Koordynacji Badań Naukowych w Chłodnictwie, marzec 1968.
8. Augustynowicz S.: Primienienie židkogo azota dlia transportirovki i zamraživaniija piščezewych produktow. *Chołodilnaja Tiechnika* 3, 56, 1969.
9. Augustynowicz S., Szmurło W.: Zastosowanie ciekłego azotu w chłodnictwie i zamrażaniu. Chłodnicza instalacja azotowa w tunelach do zamrażania produktów spożywczych. *Prace Centralnego Laboratorium Chłodnictwa*, Warszawa 74, 1968.

10. Bergh F., Wagner R. C.: Application of liquid nitrogen freezing to bakery products. *The Baker Digest (USA)* 12, 1965.
11. Bergh F.: Liquifreezing — freezing in liquid nitrogen. *Kulde* 4, 41, 1966.
12. Cryotransfer machine gives ultra-fast freezing of food products mobile too. *Frozen Foods* 5, 1965.
13. Daszyński J.: Zastosowanie niskich temperatur w konserwacji krwi. *Chłodnictwo* 1, 5, 99, 1966.
14. Huggenberger J. P.: Rozwój stosowania techniki niskich temperatur i inseminacja bydła w Europie. *Sesja naukowa 24-26 IX 1968 Kraków*.
15. Kaneko A.: Experimental study of freezing fish by liquid nitrogen. *Refrigeration (Japonia)* 456, 28, 1965.
16. Mazur J., Trojnar E.: Technika niskich temperatur. *Chłodnictwo* 4, 77, 1967.
17. Novak A. F., Ramachandra R.: Freezing more efficient with liquid nitrogen. *Food Engg. (USA)* 3, 53, 1966.
18. Suzuki T., Kanna K.: Protein denaturation of fish frozen in liquid nitrogen. *FAO symposium on the significance of fundamental research in the utilization of fish, sesja III*, 26, 1964.
19. Shipton I.: New methods of freezing foods. *Food Proc. (Australia)* 1, 2, 1965.
20. Wierzbowski S.: Konserwacja nasienia zwierząt gospodarskich w niskich temperaturach. *Chłodnictwo* 4, 2/3, 47, 1969.
21. Wolford E. R., Brown M. S.: Liquid nitrogen freezing in green beans. *Food Technol. USA* 7, 109, 1965.
22. Wolford E. R., Boyle F. P.: Freezing of peaches and sweet cherries in liquid nitrogen and in dichlorodifluoromethane and behaviour upon thawing of strawberries and raspberries. *Komisja 4, XII Kongres MICH, Madryt 1967*.

S. Augustynowicz

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПОЛЬШЕ

Резюме

Обзор основных проблем криогенной техники и анализ современного состояния и возможности производства жидкого азота и криогенной аппаратуры в Польше.

S. Augustynowicz

PRESENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS IN CRYOGENIC ENGINEERING IN POLAND

Summary

A review of the basic problems of cryogenic technics and an analysis of the present state are given as well as the possibilities of liquid nitrogen and cryogenic equipment production in Poland are discussed.