

SPOSOBY CHŁODZENIA I PRZECHOWYWANIA ORGANÓW PRZEZNACZONYCH DO PRZESZCZEPU

Część 2



inż. Aleksandra BIAŁA

6 PRZEGLĄD WRAZ Z OCENĄ TECHNICZNĄ POJEMNIKÓW IZOTERMICZNYCH NA PREPARATY MEDYCZNE Z WŁASNYM SYSTEMEM CHŁODZENIA

W myśl Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 4 grudnia 2009 r. w sprawie szczegółowych warunków pobierania, przechowywania i przeszczepiania komórek, tkanek i narządów [20]: „Narządy pobrane od dawców żywych oraz narządy pobrane w celu przeszczepienia od dawców, u których stwierdzono śmierć mózgu albo nieodwracalne zatrzymanie krążenia, mogą być przechowywane w zakładach opieki zdrowotnej wykonujących przeszczepienia, które posiadają:

- 1) pomieszczenie zabezpieczone przed dostępem osób nieuprawnionych,
- 2) urządzenie lub pojemnik termooizolacyjny.”

Polskie i zagraniczne ośrodki transplantacyjne zaopatrują się w pojemniki termoizolacyjne w drodze przetargów, przede wszystkim w dużych koncernach medycznych, które w swojej ofercie posiadają także inny sprzęt niezbędny w czasie przeszczepów. Zarówno na rynku krajowym jak i zagranicznym, dominują urządzenia kilku sprawdzonych producentów.

W zależności od przeznaczenia, wyróżnia się trzy rodzaje pojemników izotermicznych:

- pojemniki izotermiczne do przechowywania narządów typu A,
- pojemniki izotermiczne do przechowywania narządów typu B,

- pojemniki izotermiczno-elektroniczne.

6.1. Pojemniki izotermiczne do przechowywania narządów typu A

Zadaniem pojemników do przechowywania i transportu organów unaczynionych (głównie wątroby i trzustki), jest zapewnienie stałości temperatury przeszczepu (najczęściej na poziomie od 0 do 4°C). Z uwagi na zbliżone wymagania temperaturowe wymienionych narządów, pojemniki do ich przechowywania zwykle nie są wyposażone w układy regulacji temperatury. Do najpopularniejszych rozwiązań tego typu należą produkty firm: Medic Supplies Co oraz Trans Medics.

6.1.1. Pojemniki izotermiczne firmy Medic Supplies Co

Pojemniki izotermiczne firmy Medic Supplies Co są najczęściej stosowanymi urządzeniami do przechowywania wątrób i trzustek w ośrodkach transplantacyjnych na terenie Stanów Zjednoczonych.

Są one dostępne w 20 rozmiarach i dwóch wariantach chłodzenia: suchym lodem lub urządzeniem sprężarkowym. Nie posiadają systemu regulacji temperatury oraz dodatkowych modułów monitorujących parametry przeszczepu, stąd relatywnie niska cena pojedynczej sztuki, nieprzekraczająca 160 Euro.

6.1.2. Pojemniki izotermiczne firmy Organ Care Systems

Pojemniki firmy Organ Care Systems (rys. 1), to proste i skuteczne urządze-

nia, które od lat znajdują zastosowanie w przechowywaniu organów mięszowych w szpitalach europejskich (przede wszystkim w Wielkiej Brytanii i Francji).



Rys. 1. Pojemnik izotermiczny firmy Medic Supplies Co [18]

Pojemniki te są produkowane w trzech wielkościach o pojemności 30, 50 i 70 litrów. Zapewniają utrzymanie temperatury przeszczepu na poziomie 0 do 4°C, jednak są pozbawione układów regulujących temperaturę. Cena pojedynczego pojemnika izotermicznego nie przekracza 150 Euro.

6.2. Pojemniki izotermiczne do przechowywania i transportu narządów typu B

Pojemniki izotermiczne do przechowywania i transportu narządów amputowanych w wyniku wypadku, charakteryzuje uniwersalne potencjalne przeznaczenie (mogą służyć do przechowywania palców, języków, małżowin usznych), stąd konieczność kontrolowania temperatury w przestrzeni ładunkowej pojemnika, różnej w zależności od wymagań przechowywanego organu.

Pojemniki izotermiczne przeznaczone do przechowywania narządów

typu B zwykle pracują w zakresie od -10 do 5°C i są wyposażone w układy regulujące temperaturę z dokładnością do $\pm 0,1$ K. Producentami pojemników izotermicznych przeznaczonych do transportu i przechowywania tego typu organów są firmy: Med Technologies, Olivio Cold Logistics oraz Sofrigam.

6.2.1. Pojemniki izotermiczne firmy Med Technologies

Do chłodzenia i utrzymania niskiej temperatury w pojemnikach izotermicznych firmy Med Technologies (rys. 2), wykorzystywane są wymienne płytki eutektyczne o wymiarach 300×300 mm. Cztery płytki umieszczone wzdłuż wewnętrznych ścian pojemnika oraz jedna położona na znajdującym się w pojemniku organie, zapewniają utrzymanie temperatury przeszczepu na poziomie -10°C przez 48 godzin. Pojemnik jest dostępny w wielu wielkościach, natomiast cena pojedynczego egzemplarza nie przekracza 100 Euro.



Rys. 2. Pojemnik izotermiczny firmy Med Technologies [6]

6.2.2. Pojemniki izotermiczne firmy Olivio Cold Logistics

Firma Olivio Cold Logistics produkuje w produkcji pojemników izotermicznych. W swojej ofercie posiada także urządzenia przeznaczone do przechowywania i transportu narządów typu B.

Pojemniki izotermiczne firmy Olivio są dostępne w trzech wariantach pojemności (rys. 3): BAC 55, BAC 75 i BAC 130 (odpowiednio 53, 77 i 138 litrów) oraz dwóch rozwiązaniach sposobu chłodzenia: część modeli jest chłodzonych suchym lodem, a część wyposażono w układ sprężarkowy.

Dodatkowo obie wersje są wspomagane systemem chłodzenia eutektycznego (1 - 2 płytki eutektyczne). Urządzenia zapewniają utrzymanie temperatury przeszczepu na poziomie od -50 do $+10^{\circ}\text{C}$.

Produkty firmy Olivio Cold Logistics są uznawane za najlepsze w swojej kategorii, czego dowodem jest fakt, że karetki pogotowia w kilkunastu krajach europejskich są wyposażone w modele BAC 55 lub BAC 75. Cena pojemnika waha się w granicach 250 Euro.



Rys. 3. Pojemniki izotermiczne firmy Olivio Cold Logistics: BAC 55 i BAC 75 [15, 16]

6.2.3. Pojemniki izotermiczne firmy Sofrigam (Sofribags)

Firma Sofrigam specjalizuje się w produkcji pojemników izotermicznych do transportu narządów przeznaczonych do ponownego przeszycia.

Pojemniki izotermiczne Sofribag są dostępne w trzech wielkościach (rys. 5) o pojemności 4, 14 i 35 litrów. Zastosowanie wymiennych pakietów chłodzących zawierających żel eutektyczny, pozwala na utrzymanie temperatury organu na poziomie od -18 do $+2/+8^{\circ}\text{C}$ w czasie od 1 do 26 godzin. Urządzenia Sofribag posiadają układ regulacji temperatury z dokładnością do $\pm 0,1$ K, dzięki czemu możliwe

jest przechowywanie zarówno palców jak i języka, których wymagania temperaturowe znacząco się od siebie różnią.

Pojemniki Sofribag przyjmują formę wygodnej w użytkowaniu torby z uchwytami, zamykanej na zamek błyskawiczny. Cena urządzenia waha się w granicach od 150 do 200 Euro.

6.3. Pojemniki izotermiczno-elektroniczne

Pojemniki izotermiczno-elektroniczne są przeznaczone do przechowywania organów, które wymagają stałego monitorowania i regulacji temperatury, a niekiedy także innych parametrów fizycznych i biochemicznych (m. in. gęstości płynu perfuzyjnego, ciśnienia perfuzyjnego), są zatem wyposażone w układy regulacji temperatury z dokładnością jej stabilizacji nawet do $\pm 0,01$ K, oraz w dodatkowe moduły elektroniczne umożliwiające kontrolowanie pozostałych wielkości charakteryzujących przeszczep. W praktyce, urządzenia te są wykorzystywane przede wszystkim do transportu nerek i serc, ponieważ stosowanie ich w przypadku innych narządów niepotrzebnie podnosi koszty transplantacji (pojemniki izotermiczno - elektroniczne należą do najdroższych na rynku). W wytwarzaniu tego rodzaju pojemników specjalizują się firmy: Domestic Systems, Olivio Cold Logistics, Trans Medics i Waeco Cool.

6.3.1. Pojemniki izotermiczno-elektroniczne firmy Domestic Systems

Podstawowym rynkiem zbytu dla por-



Rys. 4. Elementy wyposażenia pojemników firmy Olivio Cold Logistics [16]: A – pakiet suchego lodu, B – kółka samohamowne, C – ściany i drzwiczki wykonane z monolitycznego polietylenu wraz z warstwą izolacji poliuretanowej, D – uszczelka silikonowa E – zasobniki wypełnione żel eutektycznym [8]



Rys. 5. Pojemniki izotermiczne firmy Sofrigam wraz z wymiennymi zasobnikami [21]

duktów firmy Domestic Systems, przystosowanych do pracy w wysokich temperaturach otoczenia, są kraje afrykańskie. Pojemniki tej firmy produkowane są w 6 wielkościach (7, 12, 16, 20, 25 i 30 litrów) i pracują w zakresie temperatur od -30 do 15°C . Utrzymanie niskiej temperatury wewnątrz pojemnika możliwe jest dzięki zastosowaniu układu sprężarkowego, zasilanego przy pomocy akumulatora ładowanego napięciem od 12 do 220 V. Naładowany akumulator gwarantuje nawet 36 godzinny czas pracy urządzenia.

Urządzenie wyposażone jest w system czujników i alarmów rejestrujących parametry przeszczepu. Przekroczenie wartości normalnych określonych parametrów sygnalizowane jest dźwiękiem przypisanym danemu zdarzeniu oraz ostrzeżeniem pojawiającym się na wyświetlaczu elektronicznym.

Pojemniki firmy Domestic Systems (rys. 6) znajdują zastosowanie głównie w przypadku transportu nerek. Masa urządzenia wynosi od 2 do 9 kg, a cena pojedynczej sztuki nie przekracza 200 Euro.



Rys. 6. Pojemniki izotermiczne firmy Domestic Systems [6]

6.3.2. Pojemniki izotermiczno-elektroniczne firmy Olivio Cold Logistics

Poza omówionymi powyżej pojemnikami przeznaczonymi do przechowywania i transportu narządów typu B, firma Olivio Cold Logistics produkuje także urządzenia izotermiczno-elektroniczne.

Przeznaczone do transportu serc i nerek pojemniki tego typu są dostępne w 6 wariantach pojemności, jednak istnieje możliwość zamówie-

nia pojemnika o wymiarach dostosowanych do indywidualnych potrzeb klienta. Do utrzymania temperatury przeszczepu na poziomie -15 do 35°C , wykorzystywany jest suchy lód lub urządzenie sprężarkowe wspomaganie systemem chłodzenia eutektycznego.

Masa pojemnika, w zależności od pojemności, waha się w granicach od 3 do 12 kg. Cena tego urządzenia nie przekracza 250 Euro.

6.3.3. Pojemniki izotermiczno-elektroniczne firmy Trans Medics

Firma Trans Medics zaopatruje europejskie i azjatyckie ośrodki transplantacyjne w sprzęt medyczny niezbędny podczas przeszczepów. Od 2006 roku w ofercie tego producenta znajduje się pojemnik izotermiczno – elektroniczny, służący przede wszystkim do przechowywania serca (rys. 7).



Rys. 7. Pojemnik izotermiczno-elektroniczny firmy Trans Medics [22]

Urządzenie stanowi jedno z najnowocześniejszych rozwiązań tego typu na rynku, ponieważ umożliwia perfuzję narządu ciepłą, nasyconą tlenem krwią, wydłużając tym samym żywotność przeszczepu i umożliwiając jego przewożenie na duże odległości (rys. 8).



Rys. 8. Serce umieszczone w module perfuzyjnym systemu Organ Car

Pojemnik wyposażony jest w szereg aplikacji zapewniających kontrolę nad parametrami fizycznymi i biochemicznymi serca (akcją serca, ciśnieniem tętniczym, przepływem krwi przez naczynia wieńcowe) oraz defibrylator pobudzający transportowane serce do życia w przypadku zwolnienia lub zatrzymania jego akcji (rys. 9).



Rys. 9. Pojemnik Trans Medics w czasie System Trans Medics [14] perfuzji serca [8]

Pojemnik izotermiczny firmy Trans Medics posiada dwa niezależne źródła chłodzenia: układ sprężarkowy i suchy lód, dzięki czemu możliwa jest praca urządzenia w szerokim zakresie temperatur od -60 do 40°C (z możliwością regulacji z dokładnością do $\pm 0,1$ K). Masa urządzenia, to 15 kg, natomiast jego cena, to około 400 Euro.

6.3.4. Pojemniki izotermiczno-elektroniczne firmy Waeco Cool

Pojemnik izotermiczny firmy Waeco Cool (rys. 10) jest uznawany za najdoskonalszy w swojej kategorii. Zapewnia on regulację temperatury w zakresie od -40 do $+55^{\circ}\text{C}$ z dokładnością do $\pm 0,01$ K i może być zasilany napięciem 12 lub 220 V. Jako system chłodzenia zastosowano w nim urządzenie sprężarkowe.



Rys. 10. Pojemnik izotermiczno-elektroniczny firmy Waeco Cool [6]



Rys. 11. Dodatkowe moduły pomiarowe pojemnika izotermicznego firmy Waeco Cool [6]: A – moduł do pomiaru temperatury i ciśnienia panujących w pojeździe, B – moduł do pomiaru ciśnienia perfuzyjnego, C – moduł do pomiaru temperatury wewnątrz i na zewnątrz pojemnika

Pojemnik izotermiczny jest wyposażony w liczne zespoły czujników umożliwiających analizę parametrów biochemicznych organu. Jest produkowany w jednej wielkości: 400 × 300 × 400 mm. Jego masa, to 2,5 kg, natomiast cena waha się w granicach 400 Euro.

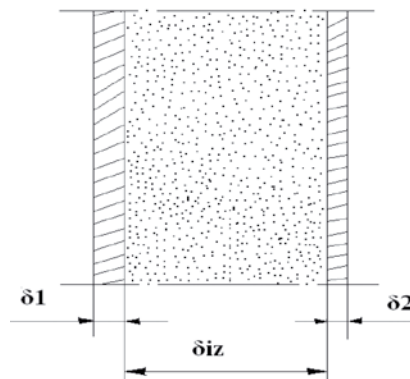
7 PROJEKT KONCEPCYJNY MAŁOGABARYTOWEGO POJEMNIKA IZOTERMICZNEGO

7.1. Obliczenie grubości warstwy izolacyjnej

7.1.1. Założenia

- zakładana gęstość strumienia ciepła: $q = 10 \text{ W/m}^2$,
- temperatura otoczenia:
 - lato: $T_L = 24^\circ\text{C} = 297^\circ\text{K}$,
 - zima: $T_z = -10^\circ\text{C} = 263^\circ\text{K}$,
- temperatura w przestrzeni ładunkowej pojemnika – warunki temperaturowe urządzenia: od -15°C do 5°C (od $T_1 = 258$ do $T_2 = 278^\circ\text{K}$),
- materiał izolacyjny: pianka poliuretanowa ($d_{iz} = 30 \text{ kg/m}^3$) o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$,
- materiał ścian: polietylen PE 500

- ($d_{PE} = 950 \text{ kg/m}^3$; $\delta_1 = 5 \text{ mm}$, $\delta_2 = 2 \text{ mm}$) o $\lambda_1 = 0,33 \text{ W/mK}$ [2],
- współczynniki przejmowania ciepła na zewnętrznej (α_z) i wewnętrznej (α_w) powierzchni przegrody [2]: $\alpha_z = 17,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_w = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Rys. 12. Schemat ideowy przegrody warstwowej pojemnika [opr. wł.]: δ_1 , δ_2 – grubość warstwy polietylenowej ściany, odpowiednio zewnętrznej i wewnętrznej w [m], δ_{iz} – grubość warstwy izolacji poliuretanowej w [m]

7.1.2. Obliczenia

- wyznaczenie skrajnych różnic temperatur otoczenia i przestrzeni ładunkowej pojemnika:

$$\Delta T_{\max} = T_L - T_1 = 297 \text{ K} - 258 \text{ K} = 39 \text{ K},$$

- obliczenie współczynnika przenikania ciepła dla największej różnicy temperatur:

$$k = \frac{q}{\Delta T_{\max}} = \frac{10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{39 \text{ K}} \approx 0,256 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7.1)$$

- obliczenie sumy oporów cieplnych warstw przegrody, z wyłączeniem warstwy izolacji:

$$\sum_{i=0}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{0,005 \text{ m} + 0,002 \text{ m}}{0,33 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 0,0212 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (7.2)$$

- wyznaczenie grubości warstwy izolacyjnej:

$$\delta_{iz} = 0,025 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot \left[\frac{1}{0,256 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} - \left(\frac{1}{17,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} + 0,0212 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + \frac{1}{8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} \right) \right] \quad (7.3)$$

$$\delta_{iz} \approx 0,0926 \text{ m} \approx 93 \text{ mm}$$

Założono mniejszą grubość warstwy

izolacji: $\delta_{iz} = 90 \text{ mm}$,

- współczynnik przenikania ciepła dla warstwy izolacji o grubości 90 mm:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_z} + \sum_{i=0}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_w}} = \frac{1}{\frac{1}{17,4} + 0,0212 + \frac{0,09}{0,025} + \frac{1}{8}} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (7.4)$$

$$k \approx 0,263 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- wielkość strumienia ciepła dla izolacji o grubości 90 mm:

$$q_{\text{obl}} = k \cdot \Delta T_{\max} = 0,263 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 39 \text{ K} = 10,257 \text{ W/m}^2 \quad (7.5)$$

Obliczeniowa wartość strumienia ciepła mieści się we wskazanym przedziale: ($9,5 \div 11,5 \text{ W/m}^2$), a zatem wyznaczoną grubość warstwy izolacji zimnochronnej można uznać za wystarczającą.

7.2. Wyznaczenie grubości całkowitej przegrody

Całkowita grubość przegrody jest równa sumie grubości ścian polietylenowych i warstwy izolacyjnej:

$$\delta_c = \delta_1 + \delta_2 + \delta_{iz} \text{ [mm]} \quad (7.6)$$

$$\delta_c = 5 \text{ mm} + 2 \text{ mm} + 90 \text{ mm} = 97 \text{ mm}$$

7.3. Określenie wymiarów i masy pojemnika

Zapoznawszy się z gabarytami dostępnych rozwiązań pojemników narządy przeznaczone do przeszczepu, kierując się przy tym jego uniwersalnym potencjalnym zastosowaniem (transport nerek, serca oraz amputowanych w wyniku wypadku części kończyn), określono wymiary zewnętrzne pojemnika (długość × głębokość × wysokość) 600 mm × 500 mm × 600 mm oraz jego wymiary wewnętrzne: 406 mm × 306 mm × 406 mm. Pojemność przestrzeni ładunkowej pojemnika wynosi zatem 50,44 l. Masę pustego pojemnika wyznaczono w oparciu o obliczenia objętości przegród pojemnika, objętości warstwy izolacji i objętości szkieletu polietylenowego i jest ona równa 14,1 kg.

Tab. 2. Zestawienie wybranych sposobów chłodzenia; ocena: 1 – zła, 2 – słaba, 3 – średnia, 4 – dobra, 5 – bardzo dobra

Kryterium oceny	Urządzenie sprężarkowe	Suchy lód	Urządzenie termoelektryczne	Płytki eutektyczne
Wydajność chłodnicza	5	3	3	4
Możliwość regulacji wydajności chłodniczej	5	3	5	1
Temperaturowy zakres pracy	5	4	4	4
Dokładność stabilizacji i regulacji temperatury	5	3	5	2
Prostota konstrukcji	3	5	4	5
Niezawodność	3	4	5	4
Masa	2	3	5	4
Koszty produkcji i eksploatacji	3	4	4	4
Ocena średnia	3,88	3,63	4,38	3,50

8 BILANS CIEPLNY POJEMNIKA IZOTERMICZNEGO. MODEL FIZYCZNY

8.1. Założenia

Założono, że pojemnik izotermiczny zostaje schłodzony do wymaganej temperatury (najczęściej z przedziału 0 do 4°C) przed umieszczeniem preparatu medycznego w jego wnętrzu, a ponadto, sam preparat w chwili włożenia go do tego pojemnika, posiada temperaturę zawierającą się we wzmiarkowanym przedziale. Założono również, że pojemnik nie jest wentylowany. Wobec powyższych założeń, jedyną komponentą uwzględnianą w bilansie cieplnym, jest strumień ciepła pochodzący z przenikania przez przegrody warstwowe.

8.2. Dane:

- wymiary zewnętrzne pojemnika: 0,6 m × 0,5 m × 0,6 m,
- wymiary wewnętrzne pojemnika: 0,406 m × 0,306 m × 0,406 m,
- $k = 0,263 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- $\Delta T_{max} = 39 \text{ K}$,
- $d = 0,15$.

8.3. Obliczenia

- wyznaczenie pól powierzchni każdej z przegród wymieniających ciepło:

$$A_i = \sqrt{A_{zi} \cdot A_{wi}} \quad [\text{m}^2] \quad (8.1)$$

gdzie:

A_{zi} – pole powierzchni ściany zewnętrznej w $[\text{m}^2]$, A_{wi} – pole powierzchni ściany wewnętrznej w $[\text{m}^2]$;

$$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \sqrt{0,3 \cdot 0,124} \approx 0,193 \text{ m}^2$$

$$A_5 = A_6 = \sqrt{0,36 \cdot 0,165} \approx 0,244 \text{ m}^2$$

- określenie wielkości strumienia ciepła wywołanego różnicą temperatur dla każdej z przegród warstwowych:

$$\dot{Q}_i = k \cdot A_i \cdot \Delta T_{max} \quad [\text{W}] \quad (8.2)$$

gdzie:

k – współczynnik przenikania ciepła w $[\text{W/m}^2\text{K}]$, ΔT_{max} – obliczeniowa różnica temperatur w $[\text{K}]$;

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q}_3 = \dot{Q}_4 \approx 1,980 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_5 = \dot{Q}_6 \approx 2,503 \text{ W}$$

- sumaryczna wielkość strumienia ciepła wywołanego różnicą temperatur:

$$\sum_{i=1}^6 \dot{Q}_i = 4 \cdot 1,980 \text{ W} + 2 \cdot 2,503 \text{ W} = 12,926 \text{ W} \quad (8.3)$$

- zestawienie bilansu cieplnego:

$$\dot{Q}_p = (1 + d) \cdot \sum_{i=1}^6 \dot{Q}_i \quad [\text{W}] \quad (8.4)$$

gdzie:

$\sum_{i=1}^6 \dot{Q}_i$ – suma strumieni ciepła wywołanych różnicą temperatur dla wszystkich (6) przegród w $[\text{W}]$, d – współczynnik uwzględniający tzw. nieprzewidziane straty ciepłe.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_p &= (1 + 0,15) \cdot 12,926 \text{ W} \approx \\ &\approx 14,865 \text{ W} \approx \mathbf{15 \text{ W}} \end{aligned} \quad (8.5)$$

Otoczenie dostarcza do wnętrza przestrzeni chłodzonej strumień ciepła wielkości 15 W.

9 WYBÓR SPOSOBU CHŁODZENIA

Wyboru sposobu utrzymania obniżonej temperatury w przestrzeni ładunkowej projektowanego małowabarytowego pojemnika izotermicznego, dokonano na podstawie porównania czterech metod chłodzenia stosowanych w pojemnikach izotermicznych przeznaczenia medycznego dostępnych na rynku.

W zestawieniu (tab. 2) oceniono każdy z czterech sposobów chłodzenia (układ sprężarkowy, suchy lód, urządzenie termoelektryczne, płytki eutektyczne), w skali od 1 do 5, w oparciu o następujące kryteria: wydajność chłodniczą, możliwość regulacji wydajności chłodniczej, szerokość temperaturowego zakresu pracy, dokładność stabilizacji i regulacji temperatury, konstrukcyjną prostotę, niezawodność, masę, koszty produkcji i eksploatacji.

Najwyższą ocenę średnią w zestawieniu, uzyskało termoelektryczne urządzenie chłodnicze i to ono zostanie wykorzystane do zapewnienia odpowiednio niskiej temperatury we wnętrzu projektowanego pojemnika izotermicznego do przechowywania i transportu narzędzi przeznaczonych do przeszczepu.

Chociaż ich wydajność chłodnicza jest mniejsza niż wydajność chłodnicza urządzeń sprężarkowych, jest ona wystarczająca dla utrzymania obniżonej temperatury w przestrzeni ładunkowej małowabarytowego pojemnika izotermicznego. Bardzo dobra możliwość regulacji wydajności chłodniczej oraz regulacji temperatury w urządzeniach termoelektrycznych, decydu-

je o zapewnieniu optymalnych warunków temperaturowych narządom i tkankom o zróżnicowanych wymaganiach. Na korzyść zastosowania termoelektrycznego urządzenia chłodniczego przemawiają także: jego duża niezawodność, relatywnie niewielkie koszty produkcji i eksploatacji, mniejsza niż w przypadku pozostałych metod chłodzenia masa, a także możliwość łatwego przejścia z trybu chłodzenia na tryb ogrzewania, co jest niezwykle istotne dla niniejszego projektu, w którym ogrzewanie w pewnym zakresie temperatur powinno zostać zapewnione.

10. PROJEKT KONCEPCYJNY SYSTEMU CHŁODZENIA POJEMNIKA Z UKŁADEM STABILIZACJI TEMPERATURY NA POZIOMIE $\pm 0,2$ K

10.1. Obliczenia agregatu chłodniczego

10.1.1. Założenia

- przyjęta temperatura przegrzania gorących spoin modułu termoelektrycznego względem otaczającego powietrza (konwekcja naturalna), [3]: $\Delta T_{\text{gor}} = 12$ K;
- założona temperatura przechłodzenia zimnych spoin względem średniej wartości temperatury w przestrzeni chłodzonej (konwekcja naturalna), [3]: $\Delta T_z = 8$ K;
- maksymalna różnica temperatur otoczenia i przestrzeni ładunkowej pojemnika: $\Delta T_{\text{max}} = 39$ K;
- wymagana wydajność chłodnicza urządzenia wyznaczona na podstawie bilansu cieplnego: $\dot{Q}_0 \geq 15$ W.

10.1.2. Cel obliczeń

Wyznaczenie różnicy temperatur ΔT_m , przy której pracuje moduł termoelektryczny z zależności:

$$\Delta T_m = \Delta T_{\text{ch}} + \Delta T_{\text{gor}} + \Delta T_z \text{ [K]} \quad (10.1)$$

gdzie:

ΔT_{max} – maksymalna różnica temperatur otoczenia i przestrzeni ładunkowej pojemnika w [K], ΔT_{gor} – temperatura przegrzania gorących spoin względem otaczającego powietrza w [K], ΔT_z – temperatura prze-

chłodzenia zimnych spoin względem średniej wartości temperatury w przestrzeni chłodniczej w [K].

10.1.3. Obliczenia i wyniki

Różnica temperatur, przy której pracuje moduł:

$$\Delta T_m = 39^\circ\text{C} + 12^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C} = 59 \text{ K}$$

10.2. Wybór agregatu termoelektrycznego spełniającego założenia projektowe

W oparciu o wyznaczoną wartość wymaganej wydajności chłodniczej $\dot{Q}_0 \geq 15$ W) i wartość różnicy temperatur, przy której pracuje moduł termoelektryczny ($\Delta T_m = 59$ K), dokonany został wybór agregatu termoelektrycznego.

Do chłodzenia pojemnika izotermicznego przeznaczonego do przechowywania i transportu preparatów biologicznych wykorzystany będzie termoelektryczny agregat chłodniczy amerykańskiej firmy Watronix Inc. typu **INB 140 – 12 – AA** o mocy chłodniczej 40 W i maksymalnym temperaturowym zakresie pracy 60 K (rys. 13). W wyposażeniu tego urządzenia znajdują się dwa wentylatory, jednak z uwagi na dużą nadwyżkę mocy agregatu nad wymaganą wydajnością chłodniczą projektowanego pojemnika izotermicznego, nie wykonano ponownych obliczeń bilansu cieplnego, który nie uwzględnia obecności wentylatora po stronie zimnego wymiennika ciepła. Wymiary gabarytowe agregatu są następujące: 145 mm \times 127 mm \times 130 mm. Wybrany model powinien być zasilany prądem stałym o napięciu 12 V i natężeniu 6 A. Jego masa jest równa 1 kg, a cena wynosi obecnie około 112 Euro [10].



Rys. 13. Agregat termoelektryczny typ INB 140 – 12 – AA firmy Watronix Inc. [10]

10.3. Rozmieszczenie agregatu w pojemniku izotermicznym do przechowywania preparatów biologicznych

W przenośnych chłodziarkach różnego przeznaczenia, agregat termoelektryczny często montowany jest w pokrywie. Takie rozwiązanie eliminuje konieczność ograniczenia przestrzeni ładunkowej chłodziarki oraz, szczególnie w przypadku urządzenia małogabarytowego, ułatwia dostęp do systemu chłodzenia w razie wystąpienia jego awarii. Wymienione zalety takiego rozwiązania, stanowią uzasadnienie jego zastosowania w niniejszym projekcie koncepcyjnym systemu chłodzenia.

Sugerowana przez producenta przestrzeń przewidziana dla urządzenia firmy Watronix Inc. ma następujące wymiary [10]: 159 mm \times 154 mm \times 146 mm (długość \times szerokość \times wysokość). Grubość ścianki projektowanego pojemnika izotermicznego, wyznaczona w punkcie 7.2, wynosi 97 mm, natomiast wysokość wybranego agregatu [10] około 130 mm, zatem wskazane jest wyposażenie pojemnika w dwie pokrywy: pokrywę z agregatem i pokrywę bez agregatu, co przyczyni się do zwiększenia jego zewnętrznej wysokości.

Pierwsza pokrywa (izolowana) posiada kontakt z wnętrzem pojemnika izotermicznego, natomiast druga (polietylenowa) znajduje się nad pierwszą. Agregat termoelektryczny jest zatopiony w środkowej części pokrywy wewnętrznej w sposób umożliwiający kontakt radiatora zimnego z przestrzenią ładunkową pojemnika izotermicznego i kontakt radiatora ciepłego wraz z wentylatorem ze środowiskiem pokrywy zewnętrznej, posiadającej otwory umożliwiające dopływ i odpływ powietrza do i z systemu chłodzenia.

10.4. Dobór układu zasilania

Najstarszym i najprostszym rozwiązaniem sposobu zasilania termoelektrycznych urządzeń chłodniczych jest zasilacz transformatorowy. Układ transformatorowy zbudowany jest z transformatora obniżającego napięcie, diod prostowniczych, filtra

kondensatorowego oraz elementów zabezpieczających i dodatkowych: wyłącznika, bezpiecznika topikowego (wskutek stopienia się jednego z jego elementów, ciągłość obwodu elektrycznego zostaje przerwana), woltomierza i amperomierza. Układy zasilania często są wyposażone także w autotransformator umożliwiający regulację napięcia na wejściu i wyjściu zasilacza, a tym samym kontrolowanie wydajności chłodniczej urządzenia lub poziomu temperatury w przestrzeni ładunkowej pojemnika. Sprawność transformatorowego układu zasilania, w zależności od napięcia i mocy wyjściowej, waha się w granicach od 50 do 80%.

Istnieją dwa rodzaje układów transformatorowych: układ z dwiema diodami i punktem środkowym oraz układ z czterema diodami. W projekcie przyjęto zastosowanie zasilacza (rys. 14) z wykorzystaniem drugiego rozwiązania, z uwagi na jego prostotę i niezawodność. Parametry przykładowego zasilacza zapewniającego wymagane napięcie wyjściowe na poziomie 12 V oraz natężenie prądu na poziomie 6 A zostały przedstawione w tabeli 3.

Tab. 3. Charakterystyka techniczna zasilacza sieciowego Waeco Cool [23]

Napięcie wejściowe	230 V AC/50 Hz
Napięcie wyjściowe	13 V DC
Natężenie prądu	6 A
Wymiary (szer. x wys. x głęb.)	115 x 65 x 170 mm
Masa	0,6 kg
Opis pozycji	Zasilacz 230 V > 12 V



Rys. 14. Zasilacz sieciowy firmy Waeco Cool do podłączenia lodówek termoelektrycznych [23]

10.5. Dobór układu stabilizacji temperatury

Wyboru rodzaju regulatora tempera-

tury dokonuje się przede wszystkim w oparciu o właściwości urządzenia chłodniczego i wymaganą dokładność stabilizacji temperatury. W niniejszym projekcie wynosi ona $\pm 0,2$ K.

Producenci modułów i agregatów termoelektrycznych niekiedy posiadają w swojej ofercie także regulatory przeznaczone do współpracy z nimi. Przykładowo firma Ferrotec (dystrybutor wybranego agregatu termoelektrycznego) współdziała w tej dziedzinie z firmą Accuthermo Technology. Zapoznawszy się z ofertą regulatorów temperatury firmy Accuthermo Technology, wzięwszy pod uwagę wymaganą dokładność stabilizacji temperatury oraz wymiary projektowanego pojemnika izotermicznego, wybrano model ATEC302 przedstawiony na rysunku 15. Urządzenie to zapewnia stabilizację temperatury z dokładnością $\pm 0,1$ K i jest wyposażone w wyświetlacz elektroniczny. Jego integracja z termoelektrycznymi systemami chłodzenia nie przysparza trudności, natomiast pobór mocy nie przekracza 4 W. Wymiary regulatora są następujące: 80 mm × 72 mm × 72 mm (długość × szerokość × wysokość), a jego cena waha się w granicach 250 Euro, w zależności od wyposażenia dodatkowego.



Rys. 15. Regulator temperatury ATEC302 firmy Accuthermo Technology [9]

10.6. Kompletacja pozostałych elementów wykonawczych

Poza scharakteryzowanymi w punktach 10.2 do 10.5: agregatem termoelektrycznym, układem transformatorowym zasilania oraz regulatorem temperatury, dobrano następujące elementy wykonawcze:

- uszczelkę silikonową,
- dwie pary zawiasów,

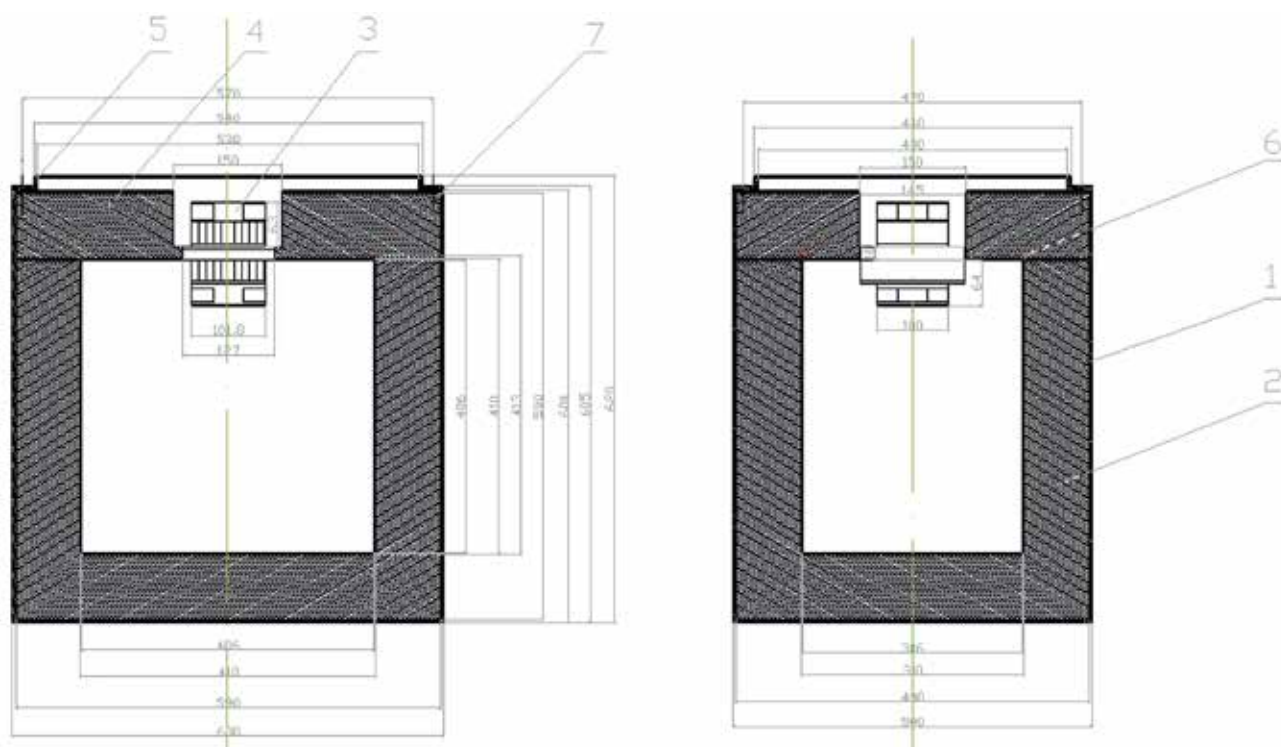
- zapinkę,
- cztery śruby mocujące pokrywę zewnętrzną,
- kółka samohamowne.

OPIS TECHNICZNY ZAPROJEKTOWANEGO POJEMNIKA IZOTERMICZNEGO DO PRZECHOWYWANIA I TRANSPORTU NARZĄDÓW PRZEZNACZONYCH DO PRZESZCZEPY

Przeznaczeniem zaprojektowanego pojemnika izotermicznego jest przechowywanie i transport preparatów biologicznych, w szczególności organów mięsnych wymagających stałej kontroli temperatury (serca i nerki) oraz narządów utraconych w wyniku nieszczęśliwego wypadku, przeznaczonych do ponownego przeszczepia.

Jego wymiary zewnętrzne, 600 mm × 500 mm × 620 mm (odpowiednio: długość, głębokość i wysokość), są zgodne z europejską normą regulującą wielkość kontenerów transportowych i dostosowane do wielkości standardowego wózka transportowego (wielkość równa wielkości 1/4 palety). Jego pojemność ładunkowa odpowiada wymaganiom przestrzennym największego potencjalnie przechowywanego narządu: wątroby i wynosi 50 litrów.

Pojemnik zbudowany jest z monolitycznego szkieletu wykonanego z polietylenu PE 500 o gęstości $d_{PE} = 950$ kg/m³ i współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_1 = 0,33$ W/mK, przy czym grubość ścianek zewnętrznych jest równa 5 mm, zaś grubość ścianek wewnętrznych wynosi 2 mm. Szkielet wypełniony jest materiałem izolacyjnym: wtryskiwaną pianką poliuretanową o gęstości $d_{iz} = 30$ kg/m³ i współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda = 0,025$ W/mK. Grubość warstwy izolacyjnej wynosi 90 mm. Zaprojektowane urządzenie posiada dwie pokrywy (połączone czterema śrubami): wewnętrzną izolowaną oraz zewnętrzną, wykonaną z PE 500, zaopatrzoną w otwory umożliwiające wymianę ciepła między obiektem chłodzonym a otoczeniem. Pokrywa wewnętrzna jest przytwierdzona do tylnej ściany pojemnika przy pomocy dwóch par



Rys. 16. Rysunek zestawieniowy zaprojektowanego pojemnika wraz z systemem chłodzenia: 1 – szkielet, 2 – warstwa izolacji, 3 – agregat termoelektryczny, 4 – pokrywa wewnętrzna, 5 – pokrywa zewnętrzna, 6 – uszczelka, 7 – śruba

zawiasów. Wzdłuż jej wewnętrznej krawędzi umieszczona jest uszczelka silikonowa, zapobiegająca niepożądanemu wymianie ciepła. Zamknięcie tej pokrywy jest szczelne także dzięki zastosowaniu specjalnej stalowej zapinki.

Zaprojektowane urządzenie zapewnia chłodzenie/ogrzewanie do temperatury 60 K poniżej/powyżej temperatury otoczenia. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu termoelektrycznego systemu chłodzenia (agregat termoelektryczny INB 140 – 12 – AA firmy Watronix Inc.) zamontowanego w wewnętrznej pokrywie („wtopionego” w warstwę izolacji). Maksymalna wydajność chłodnicza tego systemu wynosi 40 W i przewyższa wymaganą wydajność chłodniczą dla preparatów biologicznych umieszczonych w zaprojektowanym pojemniku izotermicznym (15 W), przy założeniu ich uprzedniego schłodzenia w odpowiednim roztworze prezerwacyjnym. Środkiem uczestniczącym w wymianie ciepła zarówno po stronie zimnej jak i cieplej modułu jest powietrze (typ agregatu A – A), a sama wymiana zachodzi w warunkach konwekcji wymuszonej (w skład zespołu termoelek-

trycznego wchodzi dwa wentylatory, po stronie cieplej i zimnej). Sercem agregatu jest moduł termoelektryczny pracujący przy maksymalnej różnicy temperatur spoin cieplej i zimnej równej 60 K. W zależności od kierunku przepływu prądu przez moduł termoelektryczny, uzyskiwany jest efekt chłodzenia lub ogrzewania. Wymieniki ciepła należące do struktury urządzenia, przyczyniają się do zwiększenia wydajności chłodniczej i umożliwiają jego długą i nieprzerwaną pracę w trybie zasilania prądem stałym.

Źródłem zasilania zaprojektowanego systemu chłodzenia jest prąd stały o napięciu 12 V i natężeniu 6 A, uzyskiwany dzięki układowi transformatorowemu z mostkiem Graetza, prostującemu prąd przemienny płynący w standardowych gniazdkach elektrycznych (230 V). Istnieje także możliwość ładowania agregatu przy pomocy urządzenia służącego do ładowania akumulatora samochodowego, jednak w takim przypadku niezbędne jest podłączenie filtra kondensatorowego równoległe do wyjścia urządzenia termoelektrycznego. Naładowany w ten sposób agregat zapewnia utrzymanie temperatury na określonym poziomie

na okres do 24 godzin.

Agregat termoelektryczny oraz źródło zasilania są zintegrowane z regulatorem temperatury ATEC302 firmy Accuthermo Technology, zapewniającym dokładność stabilizacji tego parametru na poziomie $\pm 0,1$ K. Do kontroli pracy termomodulu wykorzystano czujnik temperatury o dużym zakresie temperatur stosowania, umieszczony w warstwie izolacji od strony przestrzeni ładunkowej pojemnika. Regulacja temperatury następuje proporcjonalnie i automatycznie: natężenie prądu stałego oraz temperatura przestrzeni chłodzonej są ustalone w zależności od warunków zewnętrznych oraz określonej na czas przechowywania wymaganej temperatury, najczęściej z przedziału od 0 do 4°C (temperatury zadanej). Kompatybilność regulatora temperatury ze specjalnym programem komputerowym, pozwala na stałe monitorowanie temperatury wewnątrz pojemnika izotermicznego, a jego wyposażenie w elektroniczny wyświetlacz, umożliwia stały dostęp do danych zawierających temperaturę warunki panujące w przestrzeni ładunkowej.

Dzięki dużej dokładności stabili-

Tab. 4. Zestawienie charakterystyk pojemników izotermicznych z własnym systemem chłodzenia przeznaczonych do przechowywania preparatów biologicznych

Cecha charakterystyki	Zaprojektowany pojemnik	Pojemniki firmy Olivio Cold Logistics	Pojemnik firmy Waeco Cool
Sposób chłodzenia	Termoelektryczne urządzenie chłodnicze	Suchy lód/ urządzenie sprężarkowe wspomagane płytkami eutektycznymi	Urządzenie sprężarkowe
Dokładność stabilizacji temperatury	+/- 0,1 K	Brak danych	+/- 0,01 K
Wydajność chłodnicza lub temperaturowy zakres pracy	40 W, temperaturowy zakres pracy: 60 K poniżej lub powyżej temp. otoczenia	Od -50 do +10°C	Od -40 do +55°C
Pojemność ładunkowa	50 litrów	3 warianty pojemności: 53, 77 i 138 litrów	Nieznana, wymiary zewn.: 400 mm × 300 mm × 400 mm
Opcje zasilania	Prąd stały o napięciu 12 V	w przypadku układu sprężarkowego: prąd stały 12/24 V	Prąd stały 12 V lub prąd przemienny 220 V
Szacowany maksymalny pobór mocy	44 W	Brak danych liczbowych, większy niż w przypadku zaprojektowanego pojemnika	Brak danych liczbowych, większy niż w przypadku zaprojektowanego pojemnika
Masa	15,5 kg	16, 18, 31 kg (odpowiednio dla pojemności)	2,5 kg
Cena	Okolo 430 Euro	Okolo 250 Euro	Okolo 400 Euro

zacji temperatury wewnątrz pojemnika izotermicznego, możliwe jest jego zastosowanie do przechowywania i transportu narządów i tkanek o zróżnicowanych wymaganiach temperaturowych. Przemieszczanie pojemnika możliwe jest dzięki jego wyposażeniu w kółka samohamowne, zaś całkowita masa urządzenia wynosi około 15,5 kg (z wyłączeniem masy wyświetlacza regulatora). Szacowana cena zaproponowanego rozwiązania wraz z układem regulacji temperatury o wartości 250 Euro, kształtuje się na poziomie 430 Euro. Szacunek ten uwzględnia cenę wyprodukowania pojemnika oraz cenę agregatu termoelektrycznego (112 Euro).

12 OCENA TECHNICZNA I EKONOMICZNA ZAPROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA W PORÓWNANIU Z DOSTĘPNYMI NA RYNKU URZĄDZENIAMI PODOBNEGO PRZEZNACZENIA

Oceny technicznej i ekonomicznej zaproponowanego rozwiązania małogabarytowego pojemnika izotermicznego przeznaczonego do przechowywania i transportu preparatów biologicznych dokonano na podstawie zestawienia jego charakterystyki z charakterystykami dwóch pojemników podobnego przeznaczenia zapre-

zentowanych w punkcie 6 publikacji (tab. 4): pojemniki izotermiczno-elektryczne firmy Olivio Cold Logistics (rozdz. 6.2.2) oraz firmy Waeco Cool (rozdz. 6.3.4).

W porównaniu z pojemnikami izotermicznymi firmy Olivio Cold Logistics, zaproponowane rozwiązanie małogabarytowego pojemnika izotermicznego z termoelektrycznym systemem chłodzenia, odznacza się mniejszym poborem mocy przy podobnym temperaturowym zakresie pracy. Masa pojemników jest porównywalna: masa pojemnika zaprojektowanego o pojemności 50 l wynosi 15,5 kg, natomiast masa pojemnika firmy Olivio Cold Logistics o pojemności 53 l, jest równa 16 kg. Przewagą zaprojektowanego rozwiązania nad rozwiązaniem firmy Olivio jest łatwość regulacji oraz duża dokładność stabilizacji temperatury w jego przestrzeni ładunkowej.

W zestawieniu z pojemnikiem izotermicznym firmy Waeco Cool, uznanym za najlepszy w swojej klasie, zaprojektowany pojemnik charakteryzuje węższy temperaturowy zakres pracy i dziesięciokrotnie mniejsza dokładność stabilizacji temperatury, jednak warunki zagwarantowane w zaprojektowanym pojemniku są wystarczające dla wszystkich preparatów biologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem narządów mięsnych.

Istotnymi **zaletami** zaprojektowa-

nego pojemnika izotermicznego na tle dwóch pozostałych rozwiązań są: mniejszy pobór mocy, niewątpliwa łatwość przejścia z trybu chłodzenia na tryb ogrzewania (konieczne w zimie), duża niezawodność (częstość wystąpienia awarii termomodułów wynosi 0,5 do 1 x 10⁻⁶) i podatność remontowa agregatu termoelektrycznego zamontowanego w pokrywie pojemnika izotermicznego. Nie bez znaczenia jest także to, że proces chłodzenia w pojemniku z urządzeniem termoelektrycznym rozpoczyna się bezzwłocznie po włączeniu zasilania. Wadami zaproponowanego rozwiązania są: duża, szczególnie w odniesieniu do masy pojemnika firmy Waeco Cool (2,5 kg), masa (15,5 kg) oraz wysoka cena, jednak należy nadmienić, że jest to szacowana z nadwyżką cena jednostkowa wytworzenia pojemnika, przewyższająca koszt jego wytworzenia w produkcji seryjnej.

Literatura

- [1] Biała A.: Projekt małogabarytowego pojemnika izotermicznego do transportu preparatów biologicznych z systemem chłodzenia zapewniającym stabilizację temperatury z dokładnością ± 0,2 K. Praca dyplomowa inżynierska. Politechnika Gdańska. Wydział Mechaniczny, Gdańsk 2011 (promotor: dr inż. Z. Bonca)

- [2] Czapp M., Charun H.: Bilans cieplny pomieszczeń chłodni. Zasady opracowania. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie, Koszalin 1995
- [3] Filin S.: Termoelektryczne urządzenia chłodnicze. Wyd. MA-STA, Gdańsk 2002
- [4] Filin S., Owsicki A.: Zasady projektowania i eksploatacji chłodziarek termoelektrycznych. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2010
- [5] Rowiński W., Wałaszewski J., Pączek L.: Transplantologia kliniczna. Wydawnictwo. Lekarskie PZWL, Warszawa 2004
- [6] Waszkiewicz Ł.: Przechowywanie i transport narządów ludzkich przeznaczonych do przeszczepu. „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, nr 5, 2007, s. 205-210
- [7] en.olivo-logistics.com/Eutectique.php
- [8] hpulsmagazine.com/2009/09/16/cool-machine-your-organs-not-cold
- [9] www.accuthermo.com/products_5.asp?pid=10182009116534781386&pname=ATEC302+TEC+Temperature+Controller/
- [10] www.inbthermoelectric.com/Thermoelectric-Peltier-Cooling-Systems/Air-Conditioners/140-12-AA.pdf
- [11] www.logismarket.pl/olivo/854513367-736384164-c.html
- [12] www.logismarket.pl/olivo/plyty-eutektyczne/854518056-736384211-p.html
- [13] www.mech.pg.gda.pl/ktc/wtargans/osiagi/Jankowski_chlodnictwo.pdf
- [14] www.nationallereviewofmedicine.com/issue/2006/06_30/3_advances_medicine02_12.html
- [15] www.olivo.eu/PDF/fichetech-44-EN.pdf
- [16] www.olivo.eu/PDF/fichetech-45-EN.pdf
- [17] www.olivo.eu/PDF/gamme-3-EN.pdf
- [18] www.organcare.de
- [19] www.paramedicshop.pl/Pojemniki_reimplantacyjne-k112-0--default.html
- [20] www.poltransplant.pl/rozp_wa-runki2.html
- [21] www.sofrigam.com/sofribag-the-flexible-icebox
- [22] www.transmedics.com/wt/page/how_works
- [23] www.waeco.com/pl/4192_720.php
- [24] www.waeco.com/pl/produkty/3606_1916.php?hirID=297&sprID=22&artOrigID=143



wentylacja

chłodnictwo

klimatyzacja

