



Analiza modelu fizycznego stanowiska do szybkiego zmniejszania ciśnienia

MAREK SZUDROWICZ¹, LECH SOLARZ

¹Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej, 05-070 Sulejówek, ul. Okuniewska 1
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, lech.solarz@wat.edu.pl

Streszczenie. Istnieje potrzeba badania sprzętu działającego na dużych wysokościach i transportowanego drogą powietrzną. Badanie dotyczy również wpływu szybkiej dekompresji. W pracy znajdujemy omówienie wymagań dotyczących badań i propozycje podstawowych parametrów stanowiska badawczego. Bardzo trudne jest zaprojektowanie stanowiska tak, aby czas dekompresji był zagwarantowany. Sprawdzenie tego warunku zostało zrealizowane.

Słowa kluczowe: technika wojskowa, dekompresja, obliczanie przepływu, bezpieczeństwo działania sprzętu

DOI: 10.5604/12345865.1211123

1. Wstęp

Testy w komorach niskiego ciśnienia atmosferycznego są wykonywane w celu zbadania czy urządzenia i materiały są odporne i/lub mogą działać w warunkach obniżonego ciśnienia oraz czy są odporne na gwałtowne zmiany ciśnienia. Potrzeba prowadzenia tego rodzaju testów wynika z wymagań funkcjonalnych dotyczących urządzeń i materiałów, które determinowane są rodzajem ich zastosowań, a w szczególności ze względu na to, że mogą one być:

- magazynowane lub użytkowane w terenie, na dużej wysokości,
- transportowane lub działać w niehermetyzowanych przestrzeniach samolotów,

- poddane gwałtownej lub eksplozyjnej dekompresji i przez to mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa konstrukcji samolotów lub zdrowia personelu,
- montowane na zewnątrz samolotów.

Procedury badań wraz z ich podstawowymi parametrami, tj. wartość ciśnienia próby, jego zmiana oraz czas jego zmiany, podawane są w normach obronnych. W kraju wymagania te zawierają normy NO-06-A103 [4] i NO-06-A107 [5]. Natomiast standardy NATO i innych krajów członkowskich to m.in. STANAG 4370 [8], MIL-STD-810 [3], DEF STAN 00-35 [1].

W krajowych normach obronnych wymagania stosowanych w badaniach parametrów uzależnione są od rodzaju grup sprzętu (naziemny, lotniczy czy morski). I tak np. w NO-06-A103 [4] dla grupy N, urządzenia naziemne, wymaganymi wartościami ciśnienia są: niskie ciśnienie atmosferyczne pracy 60 kPa, a niskie ciśnienie atmosferyczne podczas transportu niepracującego urządzenia 12 kPa. Norma NO-06-107 [5] dla tej grupy urządzeń wymienia następujące rodzaje procedur:

- badanie odporności całkowitej na niskie ciśnienie atmosferyczne,
- badanie odporności całkowitej na niskie ciśnienie atmosferyczne podczas transportu lotniczego,
- badania odporności całkowitej na szybkie zmiany ciśnienia.

Poszczególne procedury różnią się wartościami ciśnienia próby, czasem jego zmiany, temperaturą w komorze i czasem trwania testu.

Procedury badań przytoczone w standardach innych krajów członkowskich NATO różnią się od krajowych wartościami parametrów oraz ich zakresem stosowania ze względu na sposób użytkowania materiałów i urządzeń [9, 3, 1]:

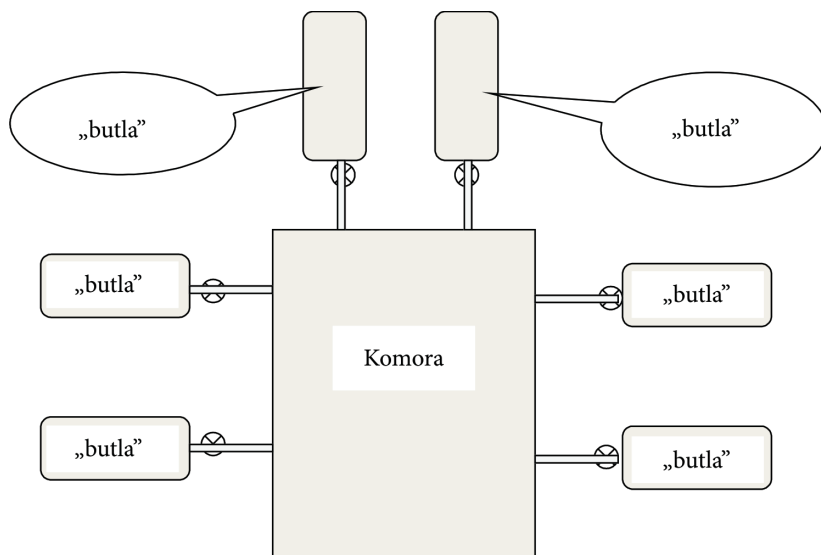
- procedura I — Magazynowanie/Transport lotniczy — procedura badań stosowana dla materiałów i urządzeń w opakowaniach, transportowanych samolotami lub magazynowanych w terenie na dużej wysokości;
- procedura II — Eksploatacja — procedura badań stosowana do sprawdzenia parametrów pracy urządzeń lub właściwości materiałów w warunkach niskiego ciśnienia;
- procedura III — Gwałtowna dekompresja — procedura stosowana w celu sprawdzenia czy gwałtowny spadek ciśnienia może spowodować taką reakcję materiału lub urządzenia, która stanowić może zagrożenie dla personelu lub pojazdu (samolotu, samochodu), w którym jest transportowane;
- procedura IV — Eksplozyjna dekompresja — procedura podobna do procedury III, z tym że następuje tu natychmiastowy spadek ciśnienia. Procedura stosowana przede wszystkim dla urządzeń i materiałów znajdujących się w kokpitach samolotów, których uszkodzenie lub zniszczenie wskutek dekompresji tego typu może spowodować zagrożenie dla personelu.

Dla procedur I i II ciśnienie próby wynosi 57 kPa (w chwili obecnej NATO zakłada prowadzenie działań lądowych maksymalnie na wysokości 4570 m, co odpowiada ciśnieniu 57 kPa). Dla procedur III i IV ciśnienie próby zmienia się od 75,2 kPa do 18,8 kPa.

Różnice występują także dla przyjmowanych wartości czasu zmiany ciśnienia w wybranych procedurach. W normach krajowych dla dwóch pierwszych procedur maksymalna szybkość zmiany ciśnienia to 10 kPa/min, a dla procedury badań odporności na szybkie zmiany ciśnienia to od 18 do 24 minut. W standardach zagranicznych zmiany ciśnienia dla gwałtownej i eksplozywnej dekompresji wynoszą odpowiednio mniej niż 15 s i 0,1 s.

Na podstawie analizy wymaganych parametrów realizacji poszczególnych procedur wykonano zestawienie założeń do projektowania uniwersalnej komory podciśnieniowej:

- podciśnienie dla urządzeń pracujących 40 kPa,
- podciśnienie dla materiałów i urządzeń niepracujących 12 kPa,
- czas osiągnięcia podciśnienia 12 kPa (prędkość min. 10 kPa/min) — 8÷9 min,
- czas zmiany podciśnienia od 75 kPa do 18,8 kPa, nie więcej niż 0,1 s,
- zapewniony zapas powietrza, pod obniżonym ciśnieniem 40 kPa, do pracy silnika spalinowego przez minimum 1 h,
- system odprowadzania spalin,
- możliwość chłodzenia komory do -50°C i grzania do $+60^{\circ}\text{C}$,
- odprowadzenie skroplin,
- maksymalne wymiary obiektu badań $1000 \times 1000 \times 1000$ mm.



Rys. 1. Schemat stanowiska do szybkiego obniżania ciśnienia

Stanowisko składa się z komory, wypełnionej w chwili początkowej powietrzem pod ciśnieniem (40 do 75) kPa, oraz ze zbiorników zwanych krótko butlami, które są w chwili początkowej wypełnione powietrzem pod istotnie niższym ciśnieniem. Po otwarciu elektro-zaworów, przez przewody łączące komorę z butlą, komora się opróżnia a butle się wypełniają. Proces kończy się w chwili, gdy ciśnienie w komorze i butlach się wyrówna.

Obliczenia dotyczą objętości komory i objętości butli na podstawie bilansu masy oraz zależności czasu wyrównania ciśnienia tak, aby spełnione były warunki odpowiadające dekompresji [9, 1].

2. Model i metoda obliczenia

Założenie dotyczące zachodzącego procesu fizycznego

1. Proces jest izotermiczny. Komora, butle, przewody nie są termicznie izolowane i zachodzi proces wymiany ciepła z otoczeniem [2]. Pomijamy efekt Joule'a-Thompsona.
2. Powietrze jest suche. W powietrzu atmosferycznym możemy oczekiwać pary wodnej w zakresie 0-4% objętości. Jeśli komora zostanie wypełniona powietrzem o wilgotności względnej bliskiej 0, eksperyment i model rozważany w pracy nie będą wykazywały istotnych rozbieżności. Jeśli wilgotność będzie bliższa górnej granicy oczekiwanych wartości, nastąpi proces jej zestalania, który może istotnie wpłynąć na zjawisko.

Parametry procesu

- T temperatura powietrza od 223 K do 333 K;
- V_k objętość komory pomniejszona o objętość obiektów w niej umieszczonych.

Oczekiwana wartość to $1,5 \text{ m}^3 \cdot 1,5 \text{ m}^3 \cdot 1,5 \text{ m}^3 = 3,3375 \text{ m}^3$, bo wewnątrz obiektu badanego też jest powietrze, które usuwamy.

- V_b objętość zbiornika zwanego krótko butlą;
- N_b liczba butli;
- $\varphi_{wl} \cong 0,2$ współczynnik strat na wlocie z komory do przewodu;
- $\varphi_z(t)$ współczynnik strat zaworu. Dla w pełni otwartego $\varphi_{zo} \cong 0,5$;
- D średnica wewnętrzna przewodu $S_p = \frac{\pi}{4} D^2$;
- l długość przewodu;
- k chropowatość wewnętrznej powierzchni przewodu;
- t_{zaw} czas otwierania zaworu;
- p_{k0} ciśnienie w komorze i przewodach przed otwarciem elektrozaworów, (75 do 40) kPa;
- p_{b0} ciśnienie w butli przed otwarciem elektrozaworów. To ciśnienie wynika z możliwości pompy próżniowej w jednostopniowym systemie tworzenia podciśnienia. Granica dolna zakresu tej wielkości $1000 \div 100 \text{ Pa}$.

2.1. Bilans masy powietrza

Masa powietrza w układzie przed otwarciem elektrozaworów jest równa masie powietrza po otwarciu elektrozaworów. Zawory przy butlach.

$$\rho_{k0} [V_k + N_b V_p] + N_b V_b \rho_{b0} = \rho_f [V_k + N_b (V_b + V_p)] \quad (1)$$

Gęstość masowa powietrza w komorze ρ_{k0} w kg/m^3 jest obliczana z prawa Clapeyrona $p_{k0} = \rho_{k0} R_a T$. Indywidualna stała gazowa powietrza została przyjęta $R_a = 287,1 \text{ J}/(\text{kg K})$ na podstawie [6]. $R_a = 287 \text{ J}/(\text{kg K})$ według [7]. Zastępcza masa molowa powietrza suchego $M_a = 28,96 \text{ kg/mol}$ [6].

$$\rho_{k0} = \frac{p_{k0}}{R_a T}, \quad \rho_{b0} = \frac{p_{b0}}{R_a T} \quad (2)$$

$$V_p = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 l \quad (3)$$

Z bilansu (1) obliczamy gęstość powietrza po zakończonym przepływie

$$\rho_f = \left[\rho_{k0} (V_k + N_b V_p) + N_b V_b \rho_{b0} \right] \left[V_k + N_b (V_b + V_p) \right]^{-1} \quad (4)$$

Ciśnienie w układzie po zakończonym przepływie

$$p_f = \rho_f R_a T \quad (5)$$

Wzory (4) i (5) pozwalają zweryfikować, czy wybrane objętości komory, butli oraz ich ilość umożliwiają badanie szybkiego spadku ciśnienia z 75 kPa do 18,8 kPa.

W rozważaniach występuje ukryty problem rozbieżności między modelem gazu doskonałego a równaniem gazu rzeczywistego. Posłużymy się bardzo długim cytatem z pracy [6].

„Gdy powietrze nie zachowuje się jak gaz doskonały (w warunkach wysokiego ciśnienia oraz niskiej temperatury), należy stosować termiczne równania stanu gazu rzeczywistego. Stosunkowo prostym równaniem tego typu, obejmującym szeroki zakres temperatury i ciśnienia, jest tzw. zmodyfikowane równanie Clapeyrona (...)

$$\rho = P/(ZRT) \quad (2.6)$$

gdzie $Z = f(T, P)$ — liczba ściśliwości gazu (*compressibility factor*)^o. Dalej znajdziemy wzory aproksymujące liczbę Z dla powietrza suchego i wniósek.

„W warunkach ciśnienia bliskiego ciśnieniu atmosferycznemu i niższego liczba ściśliwości Z_a jest bardzo bliska 1. Zatem w tych warunkach powietrze suche zachowuje się jak gaz doskonały.”

2.2. Obliczanie czasu przepływu

Czas odmierzymy od chwili otwarcia zaworów. Masa gazu w komorze zmienia się w zależności od strumienia powietrza wypływającego z komory $N_b Q(t)$.

$$M_k(t) = \rho_{k0} V_k - N_b \int_0^t Q(t) dt \quad (6)$$

$$\text{Gęstość powietrza w komorze to } \rho_k(t) = \frac{M_k(t)}{V_k}. \quad (7)$$

$$\text{Ciśnienie powietrza w komorze to } p_k(t) = \rho_k(t) R_a T. \quad (8)$$

$$\text{Podobnie dla butli } M_b(t) = \rho_{b0} V_b + \int_0^t Q(t) dt. \quad (9)$$

$$\text{Gęstość powietrza w butli to } \rho_b(t) = \frac{M_b(t)}{V_b}. \quad (10)$$

$$\text{Ciśnienie powietrza w butli to } p_b(t) = \rho_b(t) R_a T. \quad (11)$$

Strumień masy $Q(t)$ jest iloczynem przekroju przewodu, gęstości powietrza i prędkości średniej. Uwzględniamy czas otwierania elektrozaworów. Zjawisko będzie procesem o szybkiej zmianie w chwili początkowej, a nie pojawi się fala silnej nieciągłości, rozrzedzenia. Modelujemy zjawisko otwierania nie zmianą przekroju, lecz zmianą współczynnika zaworu $\varphi_z(t)$. Zastosujemy aproksymację linią łamaną

$$\varphi_z(t) = \begin{cases} \varphi_{zaw\max} - \frac{t}{t_{zaw}} (\varphi_{zaw\max} - \varphi_{zo}) & \text{dla } 0 < t < t_{zaw} \\ \varphi_{zo} & \text{dla } t_{zaw} \leq t. \end{cases} \quad (12)$$

Korzystamy z równania Bernoulliego [8]. Przekrój pierwszy lokujemy na początku przewodu między komorą a butlą, drugi na jego końcu, przy butli. Otrzymamy

$$\frac{1}{2}(V_1)^2 + P_1 + U_1 = \frac{1}{2}(V_2)^2 + P_2 + U_2 + U_{strat} \quad (13)$$

$$V_1 = \frac{Q}{S_p \rho_1}; \quad V_2 = \frac{Q}{S_p \rho_2}; \quad (14)$$

$$P_1 = \int_{pod}^{p_1} \frac{dp}{\rho(p)} = R_a T \ln \left(\frac{p_1}{pod} \right); \quad P_2 = R_a T \ln \left(\frac{p_2}{pod} \right). \quad (15)$$

Ciśnienie odniesienia *pod* jest małym ciśnieniem. Wartość tego ciśnienia nie ma wpływu na rezultat rozważań ani zjawisko. Potencjał odniesiony do masy jednostki objętości

$$U_1 = g z_1, \quad U_2 = g z_2. \quad (16)$$

Wysokości nad poziomem odniesienia z_1, z_2 . Poziom odniesienia nie ma wpływu na zjawisko, bo wpływa tylko różnica wysokości $z_1 - z_2$. Uwzględniamy zarówno lokalne opory przepływu na wlocie i zaworze, jak i opory liniowe.

$$U_{strat} = \frac{1}{2} \left\{ \varphi_{wl} (V_1)^2 + \int_0^l \lambda [Re, \varepsilon] [V(x, t)]^2 \frac{dx}{D} + \varphi_z(t) (V_2)^2 \right\}. \quad (17)$$

Oś x rozpoczyna się w przekroju kontaktującym ze zbiornikiem, czyli w przekroju 1.

We wzorze (17) występuje współczynnik oporu liniowego $\lambda [Re, \varepsilon]$, zależny od liczby Reynoldsa $Re = \frac{DV(x, t)}{\nu}$ oraz chropowatości względnej $\varepsilon = \frac{k}{D}$. Kinematyczny współczynnik lepkości ν zależy od temperatury. Prędkości, ciśnienie i gęstość powietrza są wielkościami uśrednionymi po przekroju przewodu i zmiennymi z czasem. Rozważamy proces izotermiczny, więc korzystamy z relacji Clapeyrona:

$$p(x, t) = \rho(x, t) R_a T. \quad (18)$$

Równanie (13) zawiera niewiadomą $Q(t)$.

$$F(Q) \equiv RT \ln \left[\frac{\rho_1(t)}{\rho_2(t)} \right] + g(z_1 - z_2) - \frac{1}{2} \frac{[Q(t)]^2}{(S_p)^2} \left\langle (\varphi_{wl} - 1) [\rho_1(t)]^{-2} + \int_0^l \lambda [Re, \varepsilon] [\rho(x, t)]^{-2} \frac{dx}{D} + [\varphi_z(t) + 1] [\rho_2(t)]^{-2} \right\rangle = 0. \quad (19)$$

$$\rho_1(t) = \rho_k(t); \quad \rho_2(t) = \rho_b(t) \quad (20)$$

Ze wzoru (18) wynika $\frac{p_1(t)}{p_2(t)} = \frac{\rho_1(t)}{\rho_2(t)}$. Zastosowano interpolację liniową

$$\rho(x, t) = \rho_1(t) + [\rho_2(t) - \rho_1(t)] \frac{x}{l}. \quad (21)$$

Współczynnik oporu λ obliczamy z zależności Colebrooka-White'a np. [7]

$$\lambda = \left[-2 \log_{10} \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,72} \right) \right]^{-2} \quad (22)$$

$$Re = Q(t) \frac{D}{S_p \rho(x,t)} \frac{1}{\nu}; \quad \varepsilon = \frac{k}{D}.$$

Przy obliczeniach λ korzystamy z iteracji, które są bardzo szybko zbieżne. Współczynnik lepkości kinematycznej istotnie zależy od temperatury. Obliczymy go korzystając z dwu źródeł [6] oraz [10]. W [6] zawarty jest rysunek 4.2. Lepkość dynamiczna suchego powietrza o ciśnieniu $P \leq 1$ bar ... oraz wzór aproksymujący tę krzywą w przedziale od ok. -173°C (100 K) do 377°C (650 K).

$$\mu_{a,1bar} = (a + bT + c \ln T + d / T^{1,5} + e / T^2) 10^{-6} \quad \text{kg/(ms)} \quad (4.2a) \quad [6]$$

$$a = -53,747841; \quad b = 0,018109304; \quad c = 11,410242;$$

$$d = 13296,081; \quad e = -68000,005; \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

TABELA 1
Współczynnik lepkości kinematycznej

T K	ν wg [6]	ν wg [10]
175	5,967	5,86
200	7,654	7,53
225	9,510	9,35
250	11,52	11,32
275	13,68	13,43
300	15,99	15,68
325	18,43	18,07
350	21,01	20,56
375	23,71	23,17
400	26,52	25,91
450	32,51	31,68

W tabeli lepkość jest przedstawiona w jednostkach m^2/s i pomnożona przez 10^6 , czyli mikro(m^2s^{-1}). W programie użyto średnich arytmetycznych obu kolumn.

2.3. Algorytm obliczania czasu przepływu

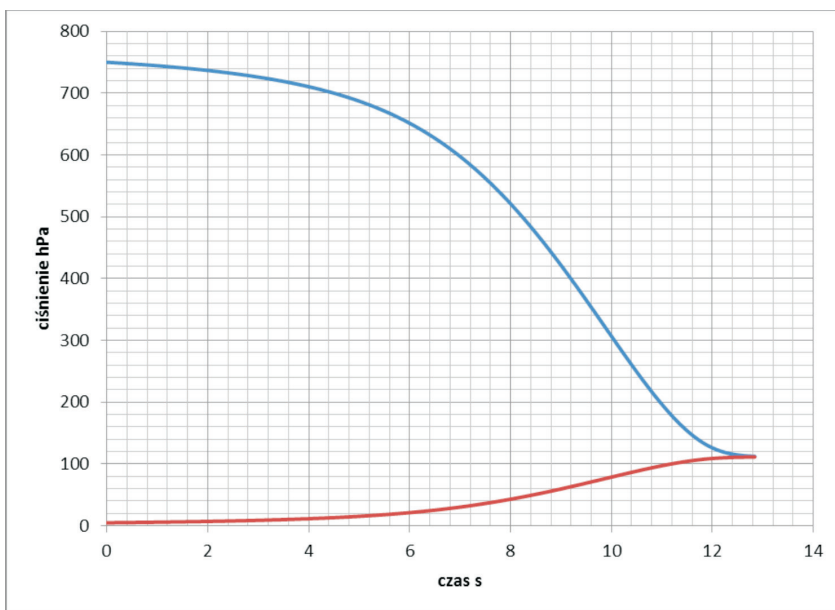
Wybieramy krok czasu Δt równy około 1/10 czasu otwarcia zaworu. Całki obliczamy metodą Romberga. Miejsc zerowych funkcji $F(Q)$ poszukujemy metodą fałsi (cięciw). Obliczenia prowadzimy do chwili, gdy różnica $|\rho_k(t) - \rho_b(t)| < 0,01\rho_k(t)$. Tabelaryzujemy $p_k(t); p_b(t); \rho_k(t); \rho_b(t)$.

3. Konkluzje

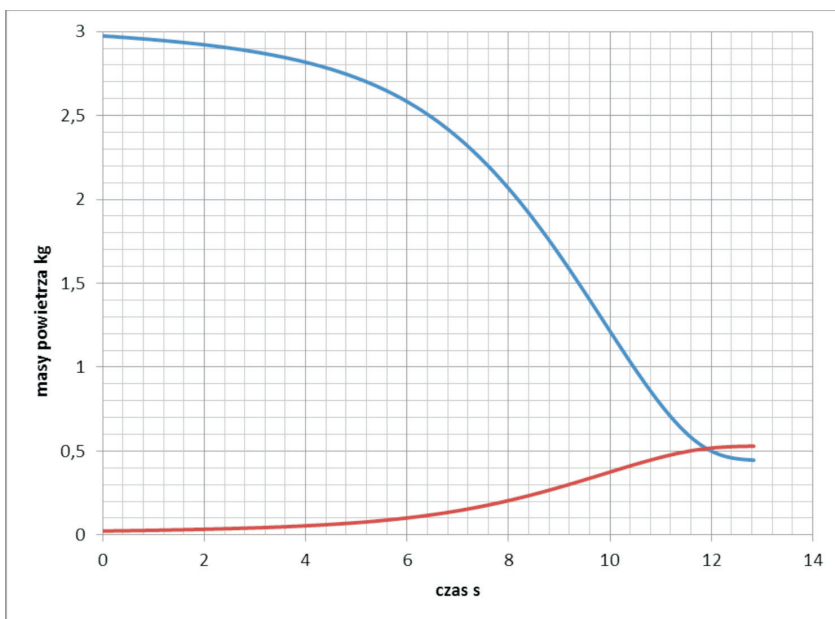
Komora o rozmiarze $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,75 \text{ m}$, czyli o objętości $3,9375 \text{ m}^3$, pozostawi po wstawieniu obiektu $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ objętość $2,9375 \text{ m}^3$. Obiekty badane zawierają objętości hermetyczne, z których powietrze nie będzie odsysane, oraz takie, z których powietrze będzie odsysane. Przyjmując, że 40% to objętości hermetyczne, możemy uznać, że powietrze odsysane z komory zajmuje $V_k = 3,3375 \text{ m}^3$. Zastosujemy butle o zbliżonej objętości $V_b = 4 \text{ m}^3$. Stosując przewody o średnicy wewnętrznej 60 mm i długości 800 mm otrzymamy, że objętość jednego przewodu to $2,262 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Jest to wielkość bardzo mała w stosunku do objętości butli i komory. Przy ciśnieniu wewnątrz komory p_{k0} równym 75 kPa i ciśnieniu początkowym w butlach $p_{b0} = 500 \text{ Pa}$ otrzymamy ciśnienie końcowe:

dla 5 butli 11,185 kPa; dla 4 butli 13,387 kPa; dla 3 butli 16,737 kPa. Każdy rezultat poniżej granicznej wielkości 18,8 kPa. Dla dwu butli otrzymamy ciśnienie końcowe 22,452 kPa, a więc zbyt wysokie. Stosując rozwiązanie z pięcioma butlami, spełnimy również wymagania normy NO-06-107 [5]. Temperatura ma bardzo mały wpływ na ciśnienie końcowe, ale istotny na masę transportowanego gazu i czas opróżniania. Dla temperatury -50°C oraz 5 butli masa powietrza to 4,0764 kg, a dla temperatury 60°C w procesie uczestniczy 2,730 kg powietrza.

Obliczenie czasu spadania ciśnienia dla układu omówionego powyżej ilustrują rysunki 2 oraz 3 wykonane dla temperatury 20°C . Wyższa krzywa na rysunku 2 odpowiada ciśnieniu w komorze a niższa ciśnieniu w butli. Z wykresu określamy czas trwania spadku ciśnienia do wartości 11,2 kPa — ok. 12,9 s. Tak wykonane stanowisko pozwoli badać wpływ gwałtownego spadku ciśnienia (15 s wg DEF STAN 00-35 [1]) na działanie sprzętu. Warunek osiągnięcia podciśnienia 12 kPa (prędkość min. 10 kPa/min) w 8÷9 min wynikający z normy NO-06-107 [5] jest bezpiecznie spełniony.

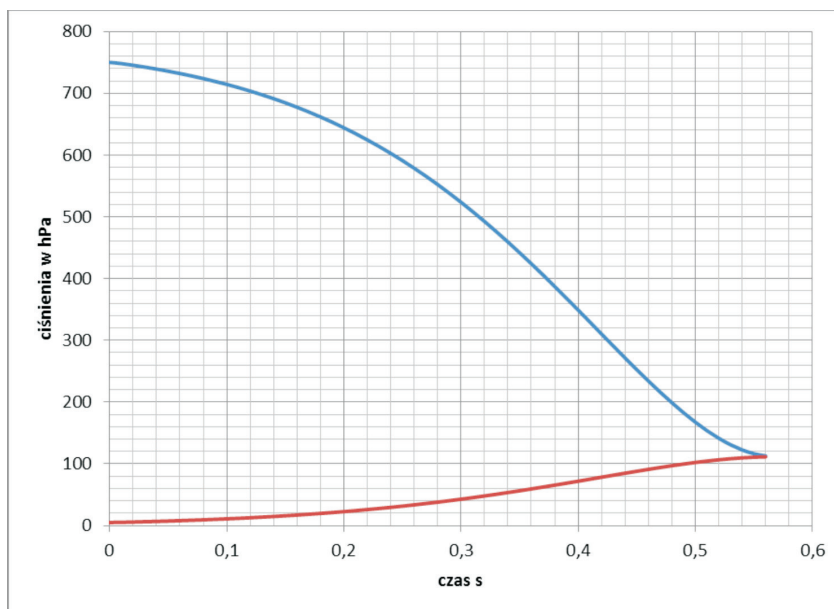


Na rysunku 3 górna krzywa przedstawia zmianę masy powietrza w komorze, a dolna zmianę masy w jednej butli.



Rys.3. Zmiana masy w komorze i butli

Wykonujemy obliczenia pozwalające oszacować możliwość badania wpływu eksplozyjnego spadku ciśnienia (0,1 s wg DEF STAN 00-35 [1]) na działanie sprzętu. Przyjmujemy bardzo dużą średnicę przewodu 240 mm.



Rys. 4. Proces wyrównywania ciśnień w układzie z dużą średnicą przewodów

Wydaje się, że dalsze zwiększanie średnicy pozwoli osiągnąć czas wyrównywania ciśnień rzędu 0,1 s. Prawdopodobnie jest to złudzenie, ponieważ trzeba dysponować zaworami elektromagnetycznymi o odpowiednio dużej średnicy.

Dziękujemy P.T. Recenzentom.

Artykuł wpłynął do redakcji 18.01.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 10.05.2016 r.

LITERATURA

- [1] DEF STAN 00-35, *Environmental Handbook for Defence Materiel*.
- [2] FEDOROWICZ R., KOŁODZIŃSKI E., SOLARZ L., *Komputerowe modelowanie przesyłania gazu*, Cyber, Warszawa, 2002.
- [3] MIL-STD-810, *Environmental Engineering Considerations and Laboratory*.
- [4] NO-06-A103:2005, *Uzbrojenie i sprzęt wojskowy — Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań — Wymagania środowiskowe*.
- [5] NO-06-A107:2005, *Uzbrojenie i sprzęt wojskowy — Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań — Metody badań odporności całkowitej na działanie czynników środowiskowych*.

- [6] OLEŚKOWICZ-POPIEL, CZ. WOJTKOWIAK J., *Właściwości termofizyczne powietrza i wody*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2015.
- [7] ORZECZOWSKI Z., PRYWER J., ZARZYCKI R., *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*, WNT, Warszawa, 1997.
- [8] RYMARZ CZ., *Mechanika ośrodków ciągłych*, PWN, Warszawa, 1993.
- [9] STANAG 4370-2008, ENVIRONMENTAL TESTING.
- [10] The Engineering Tool Box. www.EngineeringToolBox.com.

M. SZUDROWICZ, L. SOLARZ

The stand for low-pressure (altitude) tests. The physical model's analysis

Abstract. Testing of equipment used at high altitude and transported by air is necessary. The effect of decompression should be tested, too. The requirements for testing and the most important parameters of the stand are presented in the paper. The required time of decompression should be achieved during the tests. The time of decompression in the projected stand is analysed and calculated.

Keywords: military engineering, decompression, flow calculation, reliability of equipment

DOI: 10.5604/12345865.1211123