

Zbigniew RACZYŃSKI

## PROBLEMY TRANSPORTU LOTNICZEGO MOSTU MS-40

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono możliwości transportu lotniczego elementów wielkogabarytowych. Scharakteryzowano wymagania stawiane przewożonym ładunkom oraz środkom transportowym. Szczegółowiej omówiono uwarunkowania transportu zespołów mostu MS-40 samolotem transportowym typu C-130 Hercules.

**Słowa kluczowe:** samolot transportowy, ładunek, udźwignię użyteczne, pojazd-układacz, przęsło mostu.

### 1. WPROWADZENIE

W różnych gałęziach transportu, mianem ładunków ponadnormatywnych określa się ładunki o nietypowych parametrach. Związane jest to z ograniczeniem wynikającym z konstrukcji środków transportu oraz istniejącej infrastruktury. Dla przykładu, nie załadujemy do samolotu ładunku o gabarytach większych niż jego ładownia. Dodatkowym warunkiem ograniczającym jest kształt ładunku, a zwłaszcza jego geometria, która może zakłócić stateczność statyczną i dynamiczną samolotu. Aby ją zachować, należy dokonać odpowiednich obliczeń, właściwie zamocować ładunek, a także jeżeli zachodzi taka potrzeba, zastosować konstrukcje wzmacniające.

W transporcie lotniczym przyjmuje się, że jeżeli ładunek nie mieści się do samolotu rejsowego (kontenera lotniczego lub na lotniczej palecie konsolidacyjnej) i z tego względu wymaga wyczarterowania samolotu specjalnego, to jest to ładunek ponadnormatywny [9].

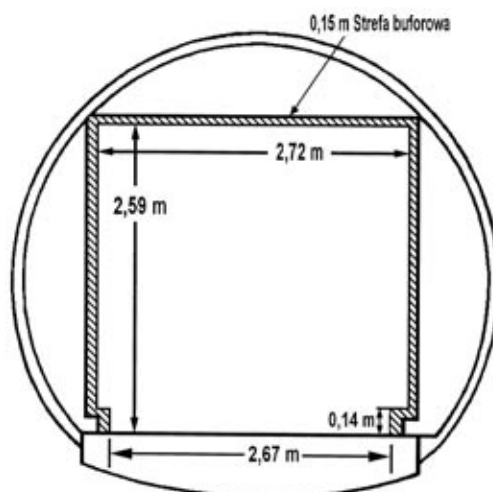
Charakter prowadzonych w ostatnich latach działań i operacji wojskowych wskazuje jednoznacznie na rosnącą rolę transportu lotniczego. Podstawowe ograniczenia związane z tym transportem to masa i wymiary sprzętu, wynikające z wymiarów ładowni i udźwignię samolotów. Nie są one jednak tak jednoznaczne jak w transporcie lądowym, a ich spełnienie nie oznacza gotowości do transportu. Zrozumienie ograniczeń i ich właściwa interpretacja jest warunkiem właściwego planowania i przygotowania transportu sprzętu drogą powietrzną.

### 2. OGRANICZENIA GEOMETRYCZNE I MASOWE PRZEWOŻONEGO ŁADUNKU

Ogólne ograniczenia transportu lotniczego określone są przez porozumienia międzynarodowe (IATA) [1] oraz standardy i normy ładunkowe obowiązujące w państwie producenta samolotu (samolot może wymagać dodatkowej certyfikacji w kraju odbiorcy). Specyficzne wymagania w zakresie wojskowego transportu lotniczego, w państwach NATO są standaryzowane [2], [3] zwykle zgodnie z amerykańskimi standardami MIL-STD [4], [5], [6] i instrukcjami o transporcie lotniczym, ponieważ armia USA obecnie dysponuje najliczniejszą flotą samolotów transportowych, największym doświadczeniem w ich eksploatacji oraz stanowi trzon wspólnych operacji [8].

Warunkiem realizacji transportu lotniczego jest możliwość wprowadzenia przewożonego ładunku do ładowni. Występuje tutaj jednak szereg ograniczeń, związanych bezpośrednio z parametrami geometrycznymi i udźwigiem samolotu transportowego, a mianowicie:

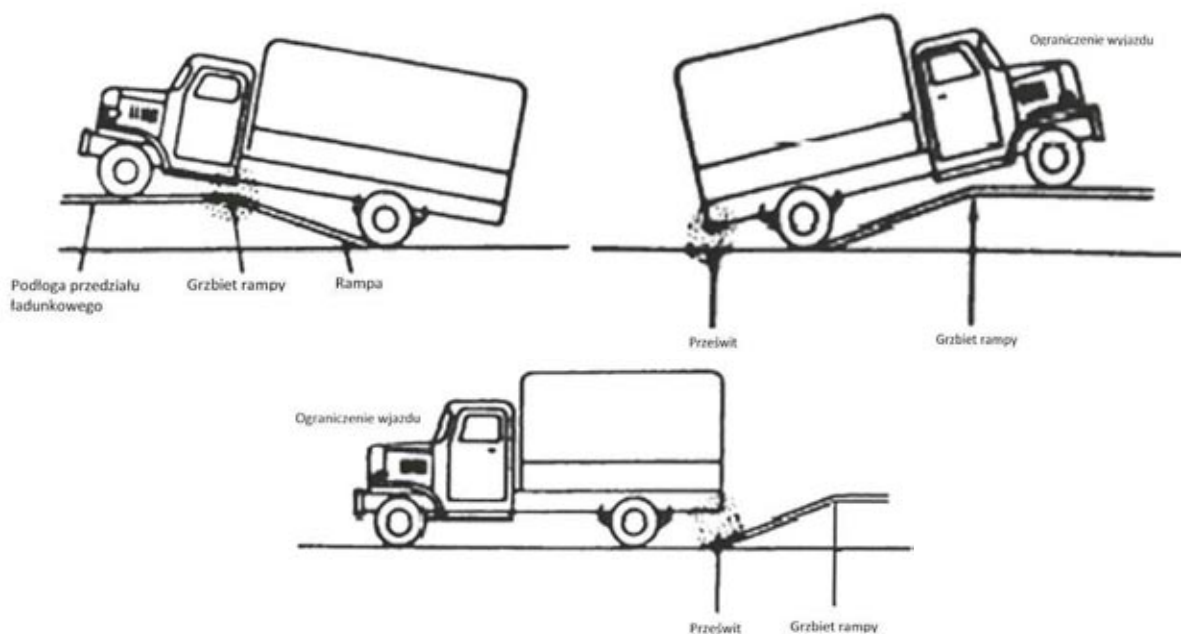
- maksymalne wymiary sprzętu powinny umożliwiać jego bezpieczny transport oraz załadunek. Niezbędna wolna przestrzeń z każdej strony ładunku (15 cm) dopuszcza jego przechylenie podczas lotu bez naruszenia konstrukcji nośnej (rys.1). Zmniejszenie dopuszczalnych wymiarów obrysowych w stosunku do rozmiarów ładowni jest również niezbędne dla bezpiecznego wprowadzenia sprzętu do ładowni (rys. 2);
- zwisy przedni i tylny oraz kąt rampowy, powinny umożliwiać wprowadzenie sprzętu do ładowni po rampie załadunkowej (rys.3);
- maksymalna dopuszczalna wysokość ładunku może być ograniczona przez zwis występujący podczas wjazdu po rampie (rys. 4) lub przez wysokość otworu załadunkowego w przypadku znacznej długości lub dużego rozstawu osi – rys. 2;
- mimośrodowe położenie środka ciężkości ładunku lub jego mimośrodowe wprowadzenie do ładowni nie może przekraczać wartości dopuszczalnych – zakłócających stateczność poprzeczną (rys.5);



**Rys. 1. Ilustracja ograniczeń wolnej przestrzeni ładunkowej samolotu transportowego C-130 [7]**

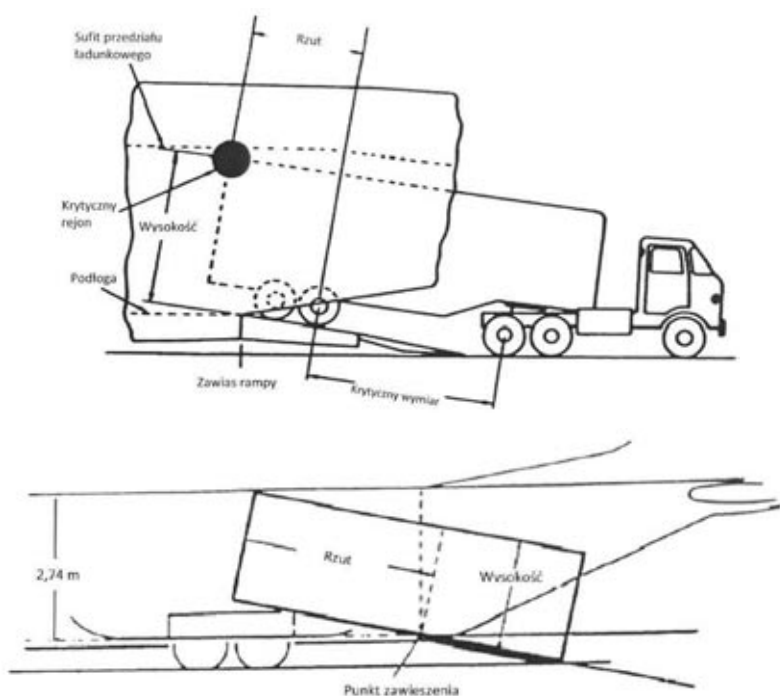


**Rys. 2. Widok wprowadzania kontenera do ładowni samolotu transportowego [7]**

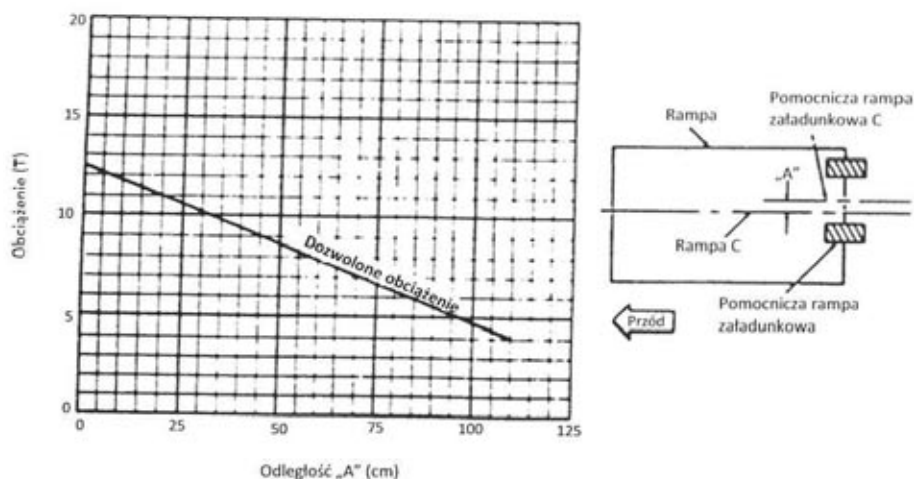


**Rys. 3. Zwisy przedni i tylny oraz kąt rampy stanowiące ograniczenia możliwości wjazdu do ładowni [7]**

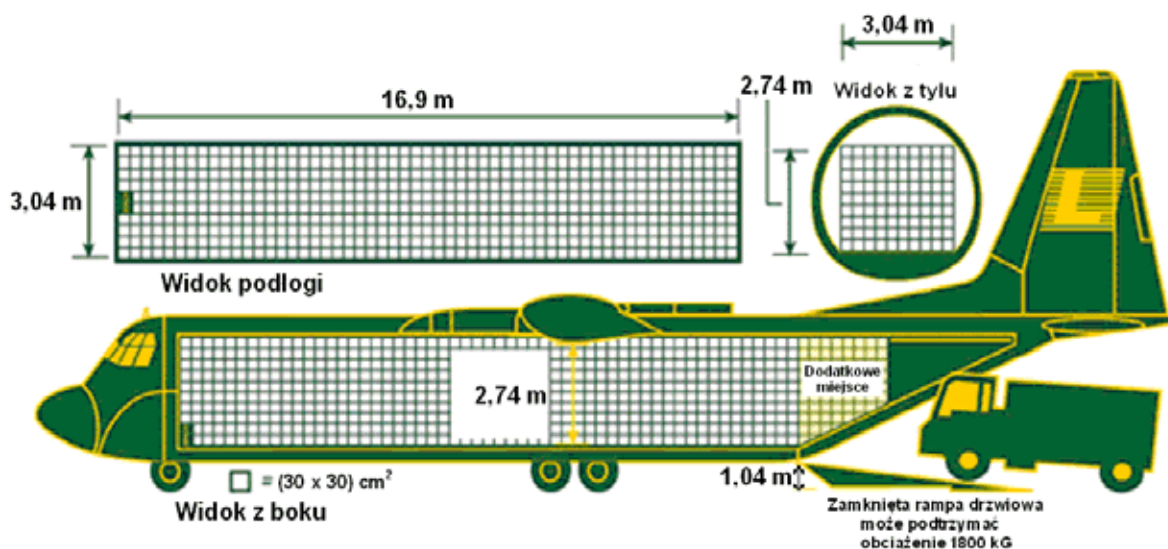
- obciążenie mostów pojazdu kołowego nie powinno przekraczać 80% dopuszczalnego obciążenia szosowego lub 100% dopuszczalnego obciążenia terenowego.



**Rys. 4. Ograniczenia wysokości ładunku, wynikające z wielkości zwisu podczas załadunku po opuszczonej rampie [7]**



**Rys. 5. Dopuszczalne mimośrodowe ustawienie środka ciężkości ładunku, mogące zaburzać stateczność poprzeczną samolotu (nomogram dla samolotu C-130) [5]**



**Rys. 6. Wymiary przestrzeni ładunkowej samolotu transportowego C-130J-30 Hercules [9]**

Na rys. 6 przedstawiono przykładowo maksymalne wymiary gabarytowe przestrzeni ładunkowej dla samolotu typu C130J-30 Hercules. Wynoszą one: (DxSxW): 16,9 m x 3,04 m x 2,74 m, gdzie: D – długość; S – szerokość; W – wysokość.

### 2.1. Udźwig użyteczny samolotów transportowych

W odróżnieniu od środków transportu lądowego, udźwig użyteczny samolotu zależy od wielu czynników. Konstrukcja każdego samolotu charakteryzuje się tzw. maksymalną masą startową, na którą składa się masa własna samolotu, masa ładunku oraz masa paliwa. Przy określaniu udźwigu bardzo istotnym parametrem jest wymagany zasięg. Zwiększenie zasięgu wymaga większej ilości paliwa i ograniczenia masy ładunku, czyli udźwigu

użytecznego. W przypadku samolotu C-130E startującego w warunkach zbliżonych do idealnych – parametry te kształtują następująco [7]:

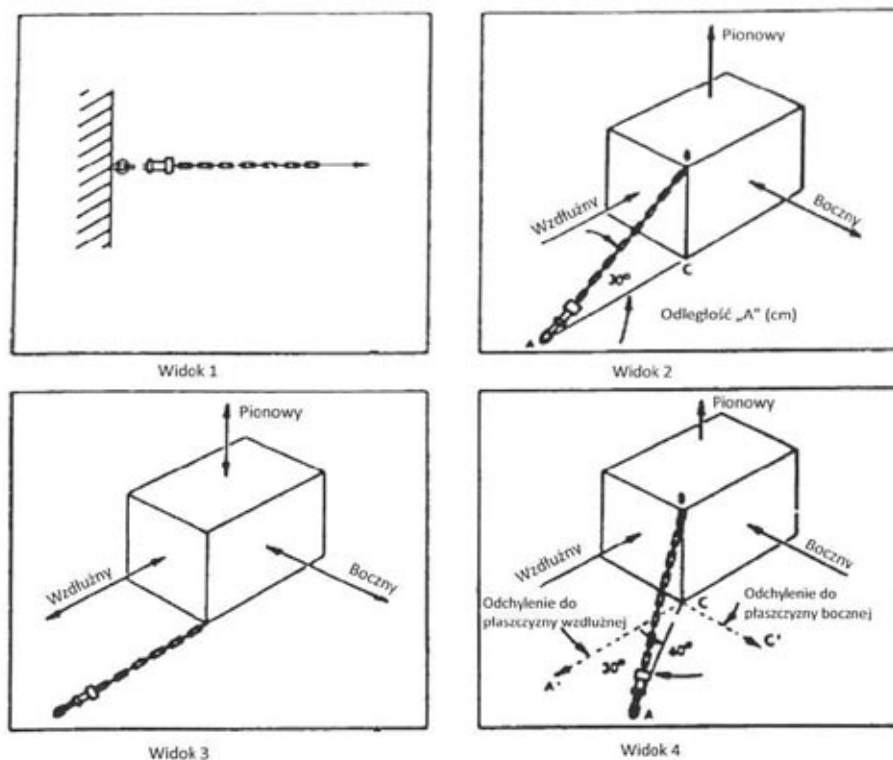
- |                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| - zasięg 111 km (60 mil morskich)    | udźwig 19 050 kg (42 000 lbs); |
| - zasięg 926 km (500 mil morskich)   | udźwig 18 140 kg (40 000 lbs); |
| - zasięg 1111 km (600 mil morskich)  | udźwig 17 690 kg (39 000 lbs); |
| - zasięg 1593 km (860 mil morskich)  | udźwig 17 240 kg (38 000 lbs); |
| - zasięg 1852 km (1000 mil morskich) | udźwig 16 330 kg (36 000 lbs). |

Termin „warunki zbliżone do idealnych” oznacza, że temperatura powietrza nie przekracza 15°C, a lotnisko znajduje się na poziomie morza. Wyższe położenie lotniska lub wyższa temperatura oznaczają niższą gęstość powietrza, mniejszą siłę nośną i zmniejszony udźwig. Pora roku, zbyt wysoka temperatura lub wysokość, mogą uniemożliwić realizację transportu powrotnego ładunku wcześniej dostarczonego drogą lotniczą.

## 2.2 Wymagania na zabezpieczanie ładunku w przestrzeni transportowej samolotu

Wymagania na bezpieczeństwo przewożonego ładunku podczas lotu są następujące [8]:

- podczas transportu powietrznego przewożony sprzęt nie może utracić stateczności oraz sprawności przy przyspieszeniach o wartościach względem grawitacyjnego (g):
  - w kierunku kabiny samolotu – 3g (nie dotyczy przedniej szyby);
  - w kierunku pionowym – 2g;
  - w kierunku poprzecznym – 1,5g;
  - w kierunku tyłu samolotu – 1,5g.
- węzły mocujące powinny zapewnić przenoszenie obciążeń wynikających z tych granicznych przyspieszeń;
- węzły te powinny być rozmieszczone symetrycznie na ramie pojazdu (dopuszczalnym jest umiejscowienie 50% węzłów w podwoziu) i zdolne do przenoszenia wymaganych obciążeń, uwzględniających zwiększone siły z uwagi na odchylenie odciągów (pasów mocujących) od osi głównych (rys.7);
- węzły mocujące powinny być łatwo dostępne i dostosowane do standardowych zaczepów, zgodnie z MIL-STD-209;
- odciągi mocujące nie mogą powodować uszkodzeń instalacji pokładowych – hamulcowej, elektrycznej hydraulicznej itp.;
- zainstalowane wyposażenie (koła zapasowe, narzędzia, osprzęty robocze) powinno być wyposażone w mocowania wytrzymujące przyspieszenia działające na sprzęt oraz obciążenie pionowe : w dół – o wartości 4,5g i o wartości 2g w górę (pojazd nie może utracić integralności);



**Rys. 7. Ilustracja sytuacji, jak ukośne prowadzenie odciągów wpływa na zmniejszenie sił w głównych kierunkach reakcji (przy ograniczonej wytrzymałości cięgna i systemu kotwienia) i umożliwia przenoszenie obciążeń wynikających z niestabilności lotu [8]**

- sprzęt musi być wyposażony we wskaźniki poziomu paliwa: elektroniczne, optyczne lub bagnetowe (podczas lotu poziom paliwa nie może przekraczać 50% pojemności zbiornika);
- zbiorniki paliwa i układ paliwowy powinny być szczelnie zamykane i zabezpieczone przed wyciekami w czasie działających przyspieszeń lub pochyleń. Pojemność pojedynczych zbiorników nie powinna przekraczać  $500 \text{ dm}^3$ ;
- wszystkie zbiorniki powinny być wyposażone w odpowietrzniki, umożliwiające wyrównywanie ciśnienia podczas fazy wznoszenia i podchodzenia do lądowania;
- zbiorniki zawierające ciecze ulegające pienieniu podczas zmian ciśnienia, powinny być zabezpieczone przez układy syfonowe ze zbiornikami wyrównawczymi (dopuszczalne obniżanie poziomu lub upust płynów eksploatacyjnych);
- wszystkie zbiorniki powinny wytrzymywać implozję, tj. wzrost ciśnienia zewnętrznego o  $55 \text{ kPa}$  w czasie  $0,5 \text{ s}$ , występującą podczas awaryjnego podchodzenia do lądowania;
- akumulatory powinny być zamocowane i zabezpieczone przed wyciekami, zwarciami i przypadkowym iskrzeniem (dopuszczalny demontaż).



### 3. MOŻLIWOŚCI TRANSPORTU POWIETRZNEGO MOSTU MS-40

Opracowany i wykonany w OBRUM [10] prototyp mostu MS-40 opiera się na powtarzalnych elementach segmentowych przęsła. Dzięki temu możliwa jest budowa mostu o dowolnej rozpiętości, maksymalnie do 40 metrów.

Wymagania odnośnie mobilności przemieszczania się i budowy takiego mostu w dowolnie wybranych, odległych miejscach przeprawy, narzucają konieczność rozpatrzenia możliwości transportu powietrznego elementów składowych tego mostu.

Obecnie najpopularniejszym standardem w zakresie taktycznego transportu wojskowego w Polsce jest samolot C-130E Herkules (rys. 8).



**Rys. 8. Samolot transportowy C-130E Hercules. Widok samolotu i wnętrze jego ładowni**

Generalnie, wymiary ładowni (bez rampy) wynoszą: (DxSxW): 12,5 m x 3,04 m x 2,74 m, maksymalny udźwig przewożonego ładunku może wynosić 19050 kg, a udźwig nominalny uzależniony jest od wymaganego zasięgu samolotu. Np. dla wymaganego zasięgu ok. (1111 km), udźwig jest mniejszy i wynosi ok. 17690 kg.

Teoretycznie jest możliwy transport zestawu mostowego MS-40 samolotem transportowym C-130E o wymiarach przestrzeni ładunkowej DxSxW: 12,5 m x 3,04 m x 2,74 m. Wymaga to jednak zaangażowania kilku samolotów transportowych.

Aby pojazd układacz (rys. 9) mógł zmieścić się w przestrzeni ładunkowej samolotu w ciągniku siodłowym JELCZ C662D.OP należy zdemontować: kabinę opancerzoną, ramię

koła zapasowego i „kominek” do układu ssącego. W naczepie należy zdemontować: żuraw i układacz. Ponadto należy rozłączyć ciągnik od układacza i potraktować je jako oddzielne ładunki.

Wtedy wymiary zespołów takiego zestawu będą w przybliżeniu wynosić: ciągnik: (DxSxW: 7,5 m x 2,55 m x 2,63 m), układacz: (DxSxW: 10,8 m x 2,55 m x 2,25 m). Również nie będzie przekroczona dopuszczalna masa każdego z zespołów, 17690 kg oraz dopuszczalny nacisk na jedną oś, wynoszący 5900 kg. Zdemontowane z ciągnika i układacza elementy można bez problemu przewieźć jako oddzielny ładunek.

Pojazd transportowy (rys. 10) może być przewożony jedynie bez przęseł i ramy pośredniej na naczepie, jak również ze zdemontowaną kabiną i innymi elementami, podobnie jak w przypadku ciągnika układacza. Ponadto należy również rozłączyć ciągnik od naczepy transportowej. Wymiary naczepy tego zestawu będą w przybliżeniu wynosić: (DxSxW: 11,15 m x 2,35 m x 1,95 m).



**Rys. 9. Widok pojazdu-układacza MS-40**



**Rys. 10. Widok pojazdu transportowego z przęsłami głównymi mostu MS-40**



**Rys. 11. Przęsła pomocnicze mostu MS-40 na pojeździe transportowym**



Dla powyższych zestawów spełnione są warunki bezpieczeństwa przewożonego ładunku podczas lotu, tj:

- zbiorniki paliwa ciągników siodłowych JELCZ posiadają odpowietrzniki w korku wlewowym, są wyposażone w elektroniczne wskaźniki paliwa i zabezpieczone przed wyciekami w wyniku działania przyspieszeń lub pochyleń. Pojemność największego zbiornika paliwa ciągnika siodłowego JELCZ wynosi tylko 250 dm<sup>3</sup>;
- zbiorniki oleju hydraulicznego mają górną przestrzeń nie wypełnioną olejem, co zabezpiecza przed wyciekiem w przypadku jego spienienia;
- sposób mocowania akumulatorów w ciągniku zabezpiecza je przed przypadkowym zwarcieniem.

Wszystkie przęsła (w stanie złożonym) należy transportować jako oddzielny ładunek. Wymiary gabarytowe jednego segmentu przęsła głównego są następujące: D x S x W: 5,72 m x 2,98 m x 1,27 m. Niewielki zapas na szerokości ładunku przęsła głównego nie spełnia wymagań wolnej przestrzeni 15 cm po bokach ładunku.

Rozmontowanie dźwigarów segmentu przęsła zmniejszy szerokość ładunku (podest przęsła z bieźnią) do 2,58 m. Natomiast gabaryty każdego z dwóch zdemontowanych dźwigarów przęsła będą następujące: D x S x W: 5,72 m x 1,48 m x 1,05 m. Pozwoli to na transport wszystkich (8 sztuk) segmentów przęsła głównych po ich demontażu.

Transport przęsła pomocniczych (rys. 11) i innych mniejszych elementów mostu nie stanowi już problemu. Trzeba jedynie pamiętać, aby nie przekroczyć dopuszczalnej masy przewożonego ładunku, tj. 17690 kg.

Do transportu lotniczego mniejszych elementów wyposażenia mostu, są dostępne palety, bądź kontenery.

Największa z dostępnych palet typu 2-PMC ma następujące dane ładunkowe:

- maksymalna masa brutto - 6804 kg;
- maksymalne wymiary zewnętrzne - D x S x W: 317 cm x 244 cm x 244 cm.

Największy z dostępnych kontenerów typu LD-9 ma następujące dane:

- maksymalna masa brutto - 6033 kg;
- maksymalne wymiary zewn. - D x S x W: 317 cm x 223 cm x 162 cm.

Odrębnym zagadnieniem jest przewóz trzech ram pośrednich pojazdów transportowych, na które zakładane są przęsła do transportu.

Parametry tych ram przedstawiono w tabelicy 1.

**Tablica 1.** Gabaryty i masy ram pośrednich naczepy transportowej

Lp.	Nr ramy pośredniej	Wymiary: D x S x W mm	Masa kg
1	I	5130 x 2990 x 628	705
2	II	5700 x 2980 x 290	840
3	III	5361 x 2900 x 1200	1600

Każda z ram ma przekroczony parametr dopuszczalnej szerokości (2740 mm), nie pozwalający zachować wymaganej wolnej przestrzeni 15 cm od ścian ładowni.

Dla zachowania tego warunku, można by wykonać specjalne wsporniki, pozwalające ustawić ramę pośrednią pod kątem do podłogi samolotu. Dla najniekorzystniejszego przypadku (szerokość ramy: 2990 mm) wysokość takiego wspornika musi wynosić 1200 mm.

Ponieważ szerokość przestrzeni ładunkowej samolotu wynosi 3040 mm, a wysokość i masa ram pośrednich nie jest duża, w szczególnym przypadku można by dopuścić transport tych ram, zabezpieczonych indywidualnie przed przesuwaniem się na boki pasami transportowymi do podłogi samolotu, nie zachowując wymaganej wolnej przestrzeni 15 cm po bokach ładunku.

Mocowanie zespołów mostu MS-40 w przestrzeni ładunkowej jest możliwe za pomocą pasów opinających zestaw bądź odciągów, wpinanych do zaczepów w podłodze samolotu (rys. 8).

Wg dostępnych danych, maksymalne obciążenie odciągów mocujących (pasów lub łańcuchów) nie może przekraczać 44 kN (w wybranych punktach do 110 kN).

#### 4. WSPÓŁCZESNY STANDARD SAMOLOTU TRANSPORTOWEGO

Wymagania wynikające z ograniczeń aktualnej wersji samolotu „HERCULES” powodują, że powyższy standard nie w pełni jest adekwatny do współczesnych potrzeb. Przewiduje się, że samoloty te będą eksploatowane w Siłach Powietrznych Polski jeszcze przez ok. 20 lat [11].

Analizując wady i niedostatki aktualnych samolotów Hercules (oraz biorąc pod uwagę konieczność wycofywania w przyszłości wyeksploatowanych samolotów) opracowano w Europie nowy standard taktycznego samolotu transportowego.

W tabelicy 2 przedstawiono parametry użytkowe wybranych współczesnych wojskowych samolotów transportowych.

Jednym z przykładów takiego podejścia jest ukraiński samolot Antonow An 70, którego konstrukcja eliminuje ograniczenia omówionego samolotu typu Hercules.

Zastosowanie samolotu transportowego Antonov An-70 do przewożenia zespołów mostu MS-40 pozwoliło by wyeliminować ograniczenia samolotu Hercules.

**Tablica 2.** Parametry użytkowe wybranych wojskowych samolotów transportowych [7]

Typ samolotu transportowego	Prędkość przelotowa km/h	Wymiary ładowni bez rampy Długość/Szerokość/ Wysokość, m	Udźwig maksymalny <sup>1)</sup>	Udźwig i zasięg nominalny	Udźwig operacyjny <sup>2)</sup>
<b>An-12</b>	<b>600-640</b>	<b>13,50 / 3,50 / 2,60</b>	<b>20 000 kg</b>	<b>16 000 kg / 3600 km</b>	
<b>C-130E/H Heckules</b>	<b>500-600</b>	<b>12,50 / 3,12 / 2,74</b>	<b>19 050 kg (42 000 lbs)</b>	<b>16 550 kg (36 500 lbs)/ 1945 km<sup>2)</sup></b>	<b>11 340 kg (25 000 lbs)</b>
<b>C-130J-30 Hercules</b>	<b>550-650</b>	<b>16,74 / 3,04 / 2,74<sup>1)</sup></b>	<b>19 960 kg (44 000 lbs)</b>	<b>16 330 kg (36 000 lbs)/ 3150 km<sup>2)</sup></b>	<b>11 340 kg (25 000 lbs)</b>
<b>Antonov An-70</b>	<b>750-800</b>	<b>19,10 / 4,00 / 4,10</b>	<b>47 000 kg</b>	<b>37 000 kg / -</b>	
<b>Airbus A-400M</b>	<b>740-780</b>	<b>17,71 / 4,00 / 3,85<sup>1)</sup></b>	<b>37 000 kg</b>	<b>31 500 kg / -</b>	

<sup>1)</sup> – w warunkach zbliżonych do idealnych

<sup>2)</sup> – wg standardu USAF

Wymiary przestrzeni ładunkowej samolotu An-70 wynoszą: D x S x W: 19,1 m x 4,0 m x 4,1 m, przy nominalnym udźwigu 37000 kg. Ze względu na znacznie większą dozwoloną szerokość i wysokość ładunku, pozwoliło by to zminimalizować niezbędne demontaże (między innymi pojazdów MS-40 i rozmontowywanie przęseł głównych) oraz radykalnie zmniejszyć koszty transportu mostu MS-40.

## 5. PODSUMOWANIE

Transport lotniczy zespołów mostu MS-40 jest możliwy będącymi na wyposażeniu Wojska Polskiego samolotami transportowymi C130-E Hercules. Jednakże (jak wykazały przeprowadzone w OBRUM analizy), ze względu na konieczność niezbędnego przed transportem demontażu zespołów mostu i użycia wielu samolotów, nieopłacalny.

Analizując parametry i koszty pozyskania samolotów transportowych należy rozważyć możliwości nawiązania współpracy z Ukrainą w celu pozyskania samolotu An-70, lub włączenia się do programu samolotu Airbus A400M.

Dążąc do interoperacyjności w ramach NATO, należy każdemu nowo wprowadzanemu lub modernizowanemu sprzętowi postawić chociaż najniższe wymagania w zakresie przystosowania do transportu lotniczego. Ich minimalny zakres powinien wynikać z nowego standardu wyznaczonego przez samoloty Antonov An-70 i Airbus A400M oraz ogólnych wymagań w zakresie bezpieczeństwa transportu lotniczego.

## 6. LITERATURA

- [1] ASCC44/21 – Air Standard Criteria for the Design of Equipment Required to be Air Transported or Airdropped from Fixed Wing and Rotary Wing Transport Aircraft.
- [2] NATO STANAG 3548 TN – Tiedown Fittings on Air Transported and Airdropped Equipment and Cargo Internally by Fixed Wings Aircraft.
- [3] NATO STANAG 3854 – Policies and Procedures Governing the Air Transportation of Dangerous Cargo.
- [4] MIL-STD-1366 – Interface Standard for Transportability Criteria.
- [5] MIL-HDBK-1791 – Designing for Internal Aerial Delivery in Fixed Wing Aircraft.
- [6] MIL-STD-209 – Slings and Tiedown Provisions for Lifting and Tying Down Military Equipment.
- [7] Łopatka M.J., Sprawka P., Kuczmarski F.: Ograniczenia transportu lotniczego. WAT, Warszawa, Systemy Logistyczne Wojsk 31/2006.
- [8] Bartnicki A., Kuczmarski F., Łopatka M.: Problemy dostosowania sprzętu do transportu lotniczego, Systemy Logistyczne Wojsk, Zeszyt 31, WAT Warszawa 2006.
- [9] Galor A., Galor W.: Problemy przewoźników ładunków ponadgabarytowych (ŁPN) w Polsce. Biblioteka cyfrowa „Świat Morskich Publikacji”, Szczecin 2010.
- [10] Sprawozdanie z badań wstępnych prototypu mobilnego mostu składanego MS-40 „DAGLEZJA-S”, (Materiały własne OBRUM sp. z o.o. – niepublikowane). Gliwice, 2015.
- [11] [http://archiwalny.mon.gov.pl/pl/strona/268/Pg\\_154\\_229](http://archiwalny.mon.gov.pl/pl/strona/268/Pg_154_229). [dostęp: 18.11.2015].

## **AIR TRANSPORTATION PROBLEMS REGARDING THE MS-40 BRIDGE**

**Abstract.** The article presents the possibilities of large-size cargo transportation by air, as well as the requirements towards the transported loads and the methods of transport. The article also provides a detailed overview of the technical conditions for the transport of subsequent assemblies of the MS-40 bridge by the C-130 Hercules transport aircraft.

**Keywords:** transport aircraft, cargo, payload , laying vehicle, bridge span