

POTENCJALNE ZAGROŻENIE STOSOWANIA HYDRAZyny W SYSTEMIE AWARYJNEGO ZASILANIA SAMOLOTÓW F-16

W artykule przedstawiono zagadnienie bezpieczeństwa związanego z eksploatowanymi w Siłach Powietrznych RP samolotów wielozadaniowych F-16. Autorzy zwrócili uwagę na kwestię wykorzystywanego paliwa do systemu awaryjnego zasilania tych statków powietrznych. W tym miejscu podkreślono fakt, iż samoloty te wymagają specjalnego paliwa o oznaczeniu H-70, który jest wodnym roztworem toksycznej hydrazyny. Z tego też względu służby ratownicze polskich baz lotnictwa wojskowego, w których stacjonują F-16 musiały zostać odpowiednio dostosowane. Nie mniej zwrócono uwagę, że w przypadku wystąpienia konieczności awaryjnego lądowania tego statku powietrznego na innych lotniskach mogą pojawić się trudności związane z ewentualnym wyciekami hydrazyny, czy jej neutralizacji z uwagi na brak wyspecjalizowanych zespołów HRT (ang. Hydrazine Response Team), będących częścią Grupy Ratownictwa Lotniskowego (ang. Aircraft rescue and firefighting).

WSTĘP

Z uwagi na zmieniające się wymagania w zakresie budowy obiektów technicznych, w tym i statków powietrznych, coraz większą uwagę zwraca się aspekty związane z szeroko rozumianym bezpieczeństwem. Ten element w zarówno w lotniczym transporcie cywilnym, jak i wojskowym odgrywa kluczową rolę.

Słowo „bezpieczeństwo” według Słownika Języka Polskiego definiowane jest jako „stan niezagrożenia”. Pochodzi od łacińskich słów *sine cura = securitas*, oznaczające „bez pieczy”. Jak podkreśla Satkowski *i in.* [24, s. 527] termin ten ma wiele znaczeń, w zależności od rozważanych dziedzin nauki.

Najogólniej bezpieczeństwo (ang. *safety*) w transporcie powietrznym definiować można jako pewien stan, w którym ryzyka związane z różnymi rodzajami działalności lotniczej, związanymi lub stanowiącymi bezpośrednie wsparcie operacji statku powietrznego są obniżone do akceptowalnego poziomu i kontrolowane [23].

Do najistotniejszych czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu lotniczego zalicza się:

- wyszkolenie personelu obsługującego statki powietrzne,
- wyszkolenie załóg statków powietrznych,
- wyszkolenie personelu służb nawigacji lotniczej czy kierowania ruchem lotniczym,
- jakość systemów komunikacji, nawigacji i dozoru,
- organizacja przestrzeni powietrznej,
- przepisy i procedury użytkowania przestrzeni powietrznej,
- organizacja i funkcjonowanie, systemów zarządzania ruchem lotniczym.

Z uwagi na szerokie spektrum czynników w działalności lotniczej zagadnienie bezpieczeństwa należy rozpatrywać systemowo, bowiem prawdopodobieństwo wystąpienia szkody dotyczy osób i mienia (np. statku powietrznego, naziemnych środków sterowania i nawigacji lotniczej oraz kierowania ruchem lotniczym) winno być zminimalizowane i jednocześnie utrzymywane na dopuszczalnym poziomie lub poniżej tego poziomu. Dotyczy to zagrożeń, które swym zasięgiem obejmują obszar lotniska (portu lotniczego), jak i obcujących jego otoczenie. W tym drugim przypadku bardzo często w literaturze podejmuje się kwestie zagrożenia hałasem [29, s. 349].

Mając na uwadze powyższe, zdaniem autorów, proces identyfikacji potencjalnych zagrożeń i zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa powinien mieć charakter ciągły. Stąd też po wprowadzeniu do eksploatacji w Siłach Powietrznych RP nowych statków powietrznych (w tym przypadków samolotów wielozadaniowych F-16) niezbędna staje się analiza bezpieczeństwa ich użytkowania w kontekście potencjalnych miejsc, na których mogą lądować. Związane jest to między innymi z bezpieczeństwem gospodarowania paliwami płynnymi. W przypadku samolotów F-16 trzeba mieć na uwadze oprócz paliwa F-34, także hydrazynę (H-70). W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że w literaturze dotyczącej polskich samolotów F-16 najczęściej poruszane są zagadnienia obejmujące procedury z przechowywaniem, wykonywaniem obsługi związanych z paliwem do układów zasilania awaryjnego (ang. *Emergency Power System* – *EPS*) wspomnianych statków powietrznych w bazach lotnictwa wojskowego [5][32]. Jeśli chodzi o sytuacje awaryjne, to obszarowi temu badacze poświęcają znacznie mniej uwagi.

1. SYSTEM EPU W SAMOLOTACH F-16

1.1. Układ EPU

Wielozadaniowe samoloty F-16 są statkami powietrznymi o napędzie odrzutowym, wykorzystywanym w siłach zbrojnych blisko 30 krajach świata. Łączna ich liczba obecnie wynosi ok. 4500 szt., z czego 48 szt. w Siłach Powietrznych RP [25, s. 23]:

- 31 Baza Lotnictwa Taktycznego w Krzesinach: 23 szt. typu F-16 C BLOCK 52+ (jednomiejscowe) oraz 9 szt. typu F-16 D BLOCK 52+ (dwumiejscowe),
- 32 Baza Lotnictwa Taktycznego w Łasku: 13 szt. typu F-16 C BLOCK 52+ (jednomiejscowe) oraz 3 szt. typu F-16 D BLOCK 52+ (dwumiejscowe).

Samolot ten wyposażony jest w układ sterowania typu *fly-by-wire* [4, s. 1]. Takie rozwiązanie wyróżnia się brakiem mechanicznego połączenia między organami sterowania, a powierzchniami sterowymi. To oznacza konieczność zapewnienia ciągłego (nieprzerwanego) zasilania układu elektrycznego i hydraulicznego. W celu zapewnienia tego zasilania w nieprzewidzianych sytuacjach stosuje się układy zasilania awaryjnego – EPS. Zadaniem jego jest przywrócenie w bardzo krótkim czasie podstawowych funkcji statku

powietrznego umożliwiających mu kontynuację lotu oraz bezpieczne lądowanie.

W F-16 wyróżnić można następujące główne elementy systemu EPS [4, s.3][7, s. 98][32, s. 254]:

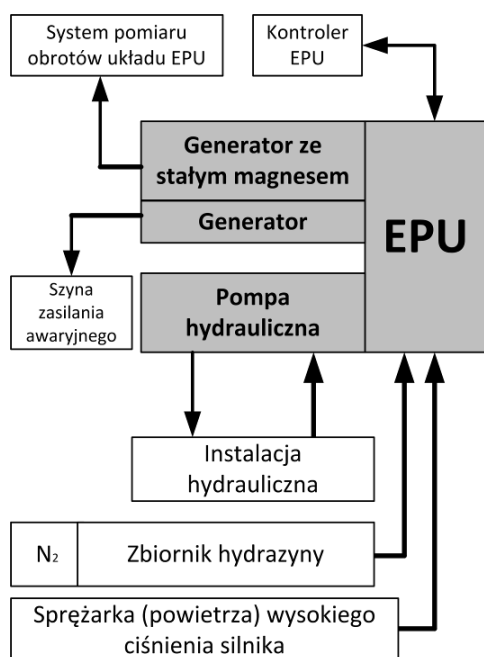
- zbiornik azotu,
- przenośny pojemnik z hydrazyną,
- turbinowa jednostka napędowa (ang. *Emergency Power Unit – EPU*),
- elektroniczny układ sterujący.

Oprócz tego znajdują się różnego rodzaju czujniki oraz zawory, które nadzorują oraz sterują poszczególnymi elementami układu samolotu.

Uproszczony schemat zasady działania układu EPU przedstawiono na rys. 1. W przypadku normalnej (niezakłóconej) pracy EPU pozostaje w trybie czuwania. W sytuacji nagłej objawiającej się:

- spadkiem ciśnienia w instalacji hydraulicznej (poniżej 68 kG/cm² czyli ok. 6,67 MPa lub ok. 1000 psi) lub/oraz
- zanikiem zasilania w energię elektryczną (uszkodzenie generatora głównego i czuwającego) lub/oraz
- wyłączenie się silnika w czasie lotu

następuje przepływ sprężonego pod ciśnieniem 3000 psi azotu, który z kolei powoduje wypychanie hydrazyny ze zbiornika do komory dekompozycji EPU. Hydrazyna wskutek zachodzącej reakcji z tlenkami żelaza napyłconymi na wewnętrznych ściankach komory ulega rozkładowi i przechodzi w postaci ciekłej w gazową. Reakcji tej towarzyszy wydzielanie się bardzo dużej ilości energii cieplnej. Wydzielone gazy kierowane są na turbinę gazową, której prędkość obrotowa w ciągu zaledwie 1-2 sekund może sięgnąć 75 tys. obr./min. Podczas gwałtownej dekompozycji temperatura gazów wylotowych może sięgnąć 870°C [27, s. 5].

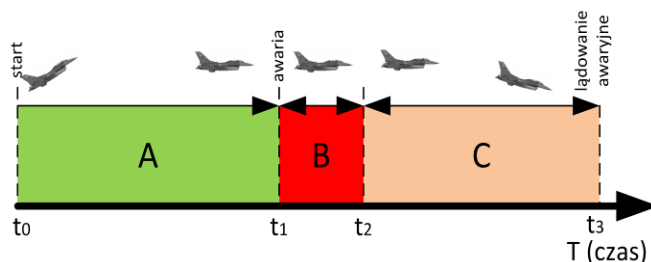


Rys. 1. Schemat działania układu EPU systemu awaryjnego zasilania EPS samolotu wielozadaniowego F-16

Turbina gazowa EPU z kolei przekazuje napęd na pompę hydrauliczną oraz generatory, które przywracają zasilanie układu elektrycznego i hydraulicznego i w efekcie utrzymują sterowność statku powietrznego przez pilota do czasu lądowania.

Biorąc pod uwagę sytuację awaryjną, to w przebiegu ewentualnego zdarzenia (awarii) można wyodrębnić trzy istotne fazy (patrz rys. 2):

- Faza A – normalna od t_0 do t_1 (układy statku powietrznego w pełni działające).
- Faza B – awaryjna – przejściowa od t_1 do t_2 (situacja awaryjna: inicjacja i uruchomieniu system EPU; podtrzymanie sterowności statku powietrznego przez akumulatory: jeden elektryczny i dwa hydrauliczne); czas trwania wynosi od 1 do 2 s.
- Faza C – awaryjna od t_2 do t_3 (situacja awaryjna: przywrócenie dostarczania zasilania); czas trwania tej fazy wynosi ok. 10-15 min. Pozwala on na bezpieczne wylądowanie samolotu na wskazanym lotnisku. Długość trwania fazy C jest związana z ilością związku znajdującego się w butli hydrazynowej zamontowanej w samolocie F-16 (ok. 56 lb, tj. 25,40 kg). [25, s. 38].



Rys. 2. Fazy lotu samolotu F-16 w przypadku wystąpienia konieczności uruchomienia systemu EPU

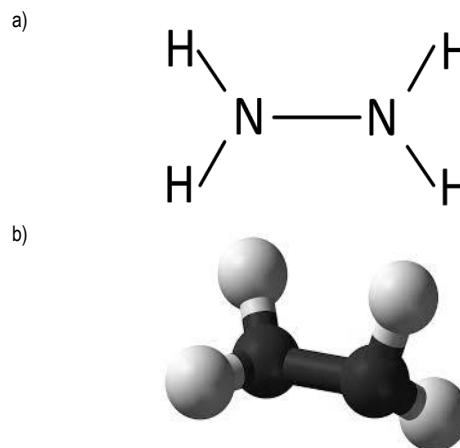
Należy podkreślić, że rozwiązanie instalacji EPU, w której wykorzystuje się jako źródło energii wodny roztwór hydrazyny cechuje się przede wszystkim [5, s. 46]:

- stosunkowo małą masą, która jest istotna z punktu widzenia samolotu, bowiem jej wzrost skutkuje pogorszeniem osiągnięć statku powietrznego;
- prostotą budowy;
- efektywnością w całym zakresie lotu statku powietrznego (szczególnie istotne jest to w przypadku małych prędkości lotu np. podczas startu czy lądowania);
- wysoką niezawodnością układu.

1.2. Hydrazyna

Charakterystyka ogólna

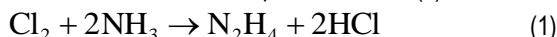
Hydrazyna (diamina, dwuamina, z ang. *hydrazine*) należy do azotowców, czyli związków pierwiastków z wodorem. Jak przedstawiono na rys. 3 jest związkiem chemicznym zbudowanym z dwóch połączonych ze sobą wiązaniami N-N grup aminowych (wzór chemiczny: N_2H_4) [20, s. 4689].



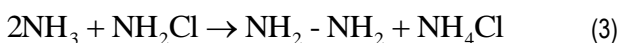
Rys. 3. Cząsteczka hydrazyny: a) wzór, b) model przestrzenny

Hydrazynę uzyskać można w wyniku:

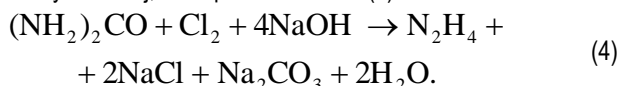
- reakcji amoniaku z chlorem, co zapisano wzorem (1):



- lub reakcji syntezy Raschiga, tj. utleniania amoniaku podchlorynem sodu (synteza), co zapisano wzorami (2) i (3):



- lub poprzez dodanie chloru do 20% roztworu mocznika i 20% zasady sodowej, co zapisano wzorem (4):



W tym ostatnim przypadku wydajność reakcji szacowana jest na ok. 50% [10].

Hydrazyna jest bezbarwną oraz oleistą cieczą, o zapachu podobnym do amoniaku – NH_3 (charakterystyczny dla alkilowych pochodnych hydrazyny). Będąca w czystej postaci pali się płomieniem fioletowym lub niebieskim. Dobrze miesza się z wodą (tworząc hydrat $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) i alkoholami (np. etylowym czy metylowym). W reakcjach z kwasami tworzy sole, co oznacza, że zachowuje się jak słaba zasada ($K_1 = 3 \times 10^{-6}$) [5, s. 42]. W obecności metali i utleniaczy może gwałtownie reagować. Hydrazyna i jej pochodne są wyjątkowo silnymi reduktorami. Oznacza to, że przebieg ewentualnej reakcji jest trudniej kontrolować. Nie mniej jak podkreśla Gniwka i Trzeciak [8, s. 959] istotną zaletą jest fakt, iż produktem jej utleniania jest azot. Wybrane wielkości fizykochemiczne hydrazyny zestawiono w tab. 1

Tab. 1. Kluczowe, wybrane wielkości fizykochemiczne związku chemicznego – hydrazyny [5][12][13][15][18][20]

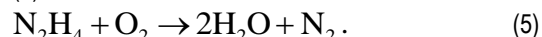
L.p.	Nazwa	Jednostka	Wartość
1.	Ciepło spalania (tlen w powietrzu)	[J/kg]	$1,941 \cdot 10^7$
2.	Ciepło parowania	[kJ/mol]	45,27
3.	Gęstość właściwa w temperaturze:		
	- 5 °C	[g/ml]	1,146
	+ 15 °C		1,011
	+ 20 °C		1,0083
	+ 25 °C		1,0036
	+ 35 °C		0,9955
4.	Granice wybuchowości	[% obj.]	4,7-100
5.	Masa cząsteczkowa	[g/mol]	32,05
	Napięcie powierzchniowe	[Nm/m]	66,7
6.	Prężność par w temperaturze		
	+ 20 °C	[hPa]	13,3
	+ 25 °C		19,2
7.	Potencjał jonizacyjny	[eV]	8,93
8.	Próg zapachu	[mg/m ³]	3-5,3 (3-4*)
9.	Rozpuszczalność w wodzie	[g/l]	1000
10.	Temperatura zapłonu		
	- w obecności szkła	[°C]	270
	- w obecności stali nierdzewnej		156
	- w obecności blachy stalowej		132
	- w obecności tlenków żelaza		23
11.	Temperatura topnienia	[°C]	1,4 (1,4/2*)
12.	Temperatura zapłonu	[°C]	37,88 (38/40*)
13.	Temperatura wrzenia	[°C]	113,5
14.	Potencjał jonizacyjny	[eV]	8,93

Oznaczenia: (*) w zależności od źródła danych

Zastosowanie hydrazyny oraz jej roztworu wodnego

Hydrazyna oraz jej wodny roztwór ma bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle. Przykładowo w energetyce cieplnej związek ten wykorzystuje się do uzdatniania wody technologicznej tj. korekty jej składu [14, s.25][19]. Stosuje się ją w przypadku zasilania kotłów wysokoprężnych w celu redukcji niekorzystnego zjawiska korozji.

Dodanie hydrazyny do wody zapisać można w postaci równania chemicznego (5):



W przypadku dodania zbyt dużej ilości hydrazyny do wody, następuje jednoczesny jej rozkład z wytworzeniem amoniaku. Związek ten w wodzie wiąże dwutlenek węgla zgodnie z przedstawionym równaniem chemicznym (6):



Oprócz tego hydrazyna stosowana jest jako półprodukt do produkcji różnego rodzaju leków np. należących do grupy cytostatycznych leków przeciwnowotworowych [22, s. 13].

Z kolei w przemyśle chemicznym związek ten (lub jego wodny roztwór) wykorzystywany jest do wytwarzania: pestycydów [21], insektycydów, czy też barwników włókienniczych [15].

Hydrazyna ma również zastosowanie w produkcji różnych tworzyw, np. w obróbce galwanicznej tworzyw sztucznych i szkła.

Szeroki obszar zastosowań obejmuje także:

- materiały wybuchowe do zastosowań cywilnych (np. materiały pirotechniczne urządzeń bezpieczeństwa biernego pojazdów samochodowych) i wojskowych [28]
- źródła napędu silników lotniczych [2][24][25], raketowych [1] czy okrętowych.

W przypadku paliwa lotniczego stosowany jest jej roztwór wodny (70% N_2H_4 + 30% H_2O). Zastosowanie tego związku chemicznego do napędu samolotów odnotowano podczas II Wojny Światowej w niemieckich samolotach myśliwskich Messerschmitt Me-163B. Jednak w tym przypadku była to mieszanka zawierająca dodatkowo alkoholu metylowego.

Zagrożenia związane z hydrazyną

Wg oznakowania CLP (ang. *harmonised classification and labelling*) zatwierdzonej przez Unię Europejską, hydrazyna (numer CAS 302-01-2) jest substancją niebezpieczną [13][26]:

- Flam. Liq. 3, H226;
- Carc. 1B, H350;
- Acute Tox. 3(*), inhal., H331;
- Acute Tox. 3(*), dermal, H311;
- Acute Tox. 3(*), oral, H301;
- Skin Corr. 1B, H314;
- Skin Sens. 1, H317;
- Aquatic Acute 1, H400;
- Aquatic Chronic 1, H410.

Wśród najczęściej wymienianych zagrożeń dla organizmów żywych zaliczyć można [5][15][26][30]:

- oparzenia i reakcje alergiczne skóry,
- uszkodzenia oczu (np. spojówek czy rogówki),
- toksyczność po połknięciu lub w następstwie wdychania (przekrwienie oraz zmiany zwyrodnieniowe w wątrobie, nerkach, płucach, śledzionie, mięśni sercowym czy szpiku, duże prawdopodobieństwo obrzęku płuc)
- toksyczność dla środowiska wodnego,
- pobudzenie ośrodkowego układu nerwowego.
- podrażnienia oczu, nosa i gardła w przypadku kontaktu z oparami.

Oprócz tego prawdopodobnie działa rakotwórczo. Stąd zaliczana jest do kategorii substancji Carc. 1B, co do których wiadomo lub istnieje domniemanie, że są rakotwórcze. Podstawą tej klasyfikacji (B1) są wyniki badań przeprowadzone na zwierzętach (głównie szczurach, myszach, królikach czy psach). Nieliczne wypadki z udziałem człowieka i obserwacji klinicznej skutków toksyczności ostrej i przewlekłej przedstawiono w pracy [15, s. 43]. Potwierdzają one dotychczasowe przeprowadzone badania w tym zakresie.

Z uwagi na powyższe IMP zakwalifikował hydrazynę jako substancję o działaniu rakotwórczym lub mutagennym [31].

Jak zapisano w tab. 1 hydrazyna posiada szeroki zakres granicy wybuchowości. Z tego też względu stwarza także zagrożenie pożarowe (kat. Flam. Liq. 3). Jak podkreśla Ciołek i Demel [5, s. 43], że temperatura samozapłonu hydrazyny ulega obniżeniu do temperatury pokojowej w wyniku działania metali (miedzi, platyny, niklu, żelaza), co zwiększa potencjalne zagrożenie. Ponadto związek ten i jej stężone roztwory wodne (np. H-70) zdolne są do chemicznego samozapalenia w kontakcie z tlenkami niektórych metali i substancjami o rozwiniętej powierzchni (np. azbest, drewno, tkaniny, sucha ziemia, żużel) [5, s. 43][9, s. 278].

Szczegółowe zagrożenia produkowanych wodnych roztworów hydrazyny (N2H4-H2) i wymagań co do transportu i magazynowania oraz zasad postępowania zamieszcza się w kartach charakterystyki produktów, np.:

- wodzian hydrazyny 60% wytwarzany przez Ciech Trading SA [17],
- wodzian hydrazyny 80% wytwarzany przez POCH S.A [16].

W przypadku wystąpienia zagrożenia, to wielkość niebezpiecznego stężenia hydrazyny jest zróżnicowana w zależności od czasu jego oddziaływania oraz poziomu stężenia, co przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Wielkości niebezpieczne dla człowieka stężenia oparów hydrazyny w zależności od czasu ich oddziaływania [6]

L.p.	Niebezpieczny poziom stężenia oparów hydrazyny [ppm]	Czas oddziaływania [min]
1.	10	60
2.	20	30
3.	30	10

Biorąc pod uwagę obowiązujące przepisy, to w Polsce dla hydrazyny:

- najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) wynosi 0,05 mg/m³,
- najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh) 0,1 mg/m³.

Należy podkreślić, że obecne na świecie dąży się do ograniczania oddziaływania na hydrazynę i w związku z tym obniżania wartości NDS i NDSCh. W 2015 r. 77 posiedzenie Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynniki Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy przyjęła następujące wartości stężeń hydrazyny w środowisku pracy: 0,013 mg/m³ dla NDS i 0,039 mg/m³ dla NDSCh [15, s. 36].

W przypadku znajdowania się hydrazyny w powietrzu, to [5, s. 42]:

- stężenie śmiertelne wynosi 2,60 g/m³;
- stężenie niebezpieczne: 104 mg/m³,
- dawka śmiertelna: 0,06 g/kg.

2. IDENTYFIKACJA I KLASYFIKACJA MIEJSC POWSTAWANIA ZAGROŻEŃ ZWIĄZANYCH Z HYDRAZYNĄ W SAMOLOTACH F-16

Jak wskazano wcześniej hydrazyna oraz jest wodny roztwór stanowi duże zagrożenie dla człowieka i otaczającego go środowiska. Mając na uwadze kwestie zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa, to miejsca powstawania zagrożeń związanych z hydrazyną w samolotach F-16 identyfikować pod różnym kątem.

I tak, biorąc pod uwagę podstawowy łańcuch logistyczny hydrazyny, który zaprezentowano szczegółowo w pracy Satkowskiego [25], w czasie działań pokojowych w bazach lotnictwa wojskowego (BLW) zagrożenia mogą wystąpić podczas jej:

1. Magazynowania w obiekcie zlokalizowanym w BLW.

2. Transportu w różnych jednostkach manipulacyjnych (np. do magazynu w beczkach o pojemności 200 dm³ oraz do statku powietrznego w kontenerach do transportu pokładowego zbiornika hydrazynowego o pojemności ok. 34 dm³).
3. Bezpośredniego montażu lub demontażu butli hydrazynowej w statku powietrznym.

W przypadku obiektu magazynowego potencjalne zagrożenie występuje podczas napełniania butli hydrazynowej. Czas takiej operacji wynosi ok. 18 godzin, przy czym uzależniony od tego, czy butla jest pusta, czy częściowo napełniona. W warunkach polskich czynności te wykonywane są tylko w 31 Bazie Lotnictwa Taktycznego w Krzesinach, gdzie zlokalizowany jest jedyny specjalny obiekt do przechowywania tego rodzaju paliwa do samolotów wielozadaniowych F-16 (rys. 4).

Jak można zauważyć na rys. 4 jest to budynek jednokondygnacyjny o konstrukcji murewanej składający się z min. trzech funkcjonalnych części:

- I – do przechowywania beczek hydrazyny,
- II – do napełniania pokładowych butli hydrazynowych do samolotów F-16,
- III – pomieszczenia nadzoru i kontroli bezpieczeństwa, pomieszczenia medycznego i sprzętu zabezpieczającego, pomieszczeń socjalnych i technicznych.



Rys. 4. Budynek magazynowy hydrazyny w 31 Bazie Lotnictwa Taktycznego w Krzesinach [25]

Obiekty tego rodzaju ze względów bezpieczeństwa charakteryzują się:

- lekką konstrukcją dachu nad pomieszczeniami zagrożonymi wybuchem,
- nieiskrzącymi drzwiami wewnętrznymi (o odporności EI 30) i zewnętrznymi, z zamkami antypanikowymi oraz samozamykaczami,
- w części kontrolowanej wybuchem posadzkami żywicznymi antyelektrostatycznymi.
- odpowiednim wyposażeniem (np. systemy wentylacji mechanicznej i awaryjnej, układy czujników stężenia oparów hydrazyny, systemy kontroli i regulacji temperatury pomieszczeń, systemy przeciwpożarowe – układy zraszaczy, systemy ostrzegania, itd.) i instalacjami (np. kanalizacji technologicznej, instalacji centralnego ogrzewania, instalacji oświetlenia podstawowego i awaryjnego itd.).

Kolejne potencjalne zagrożenie występuje podczas transportu w specjalnych kontenerach pokładowego zbiornika hydrazynowego (rys. 5).



Rys. 5. Kontener do przewozu pokładowej butli hydrazynowej

Zgodnie z obowiązującymi przepisami transport hydrazyny wymaga stosowania na opakowaniach odpowiednich piktogramów (rys. 6).



Rys. 6. Stosowane w Unii Europejskiej piktogramy (GHS) na opakowaniach zawierających hydrazynę [26]

Przewóz w kontenerach z magazynu do samolotu F-16 realizowany jest specjalną przyczepą tzw. Zespołu HRT (ang. *Hydrazine Response Team*), będącą częścią Grupy Ratownictwa Lotniskowego (rys. 7). Taka przyczepa wyposażona jest w środki ochrony indywidualnej (np. maski, aparaty oddechowe, kombinezony czy butle z powietrzem), jak również sprzęt niezbędny do usuwania wycieków hydrazyny czy też awarii wynikających z użycia układu EPU na samolocie F-16. Oprócz tego znajdują się środki chemiczne do neutralizacji hydrazyny.



Rys. 7. Przykład przyczepy Grupy HRT do transportu pokładowego zbiornika hydrazynowego w kontenerze

Kolejne potencjalne zagrożenie występuje podczas wykonywania prac na ziemi na statku powietrznym np. w trakcie operacji instalacji (lub wymiany) napełnionej butli hydrazynowej. Prace te wykonywane są na jednym samolocie przez dwie osoby.

Z uwagi na fakt, iż w przypadku 32 Bazy Lotnictwa Taktycznego w Łasku na wyposażeniu nie ma magazynu hydrazyny znaczną część zadań wykonywana jest przez Zespół HRT zlokalizowany w Krzesinach.

W tym miejscu autorzy zwracają uwagę, że największe zagrożenie występuje w przypadku sytuacjach awaryjnych np.:

1. Po uruchomieniu systemu awaryjnego zasilania podczas lotu.
2. W czasie niekontrolowanego wycieku hydrazyny na samolocie.

Dotyczy to w szczególności zdarzeń, w których lądowanie samolotu F-16 nie odbywa się na lotnisku, gdzie nie ma Zespołu HRT.

Biorąc pod uwagę lokalizację polskich baz lotniczych, to ewentualny dojazd drogowym środkiem transportu Zespołu HRT w akceptowalnym czasie jest niemożliwy z uwagi na odległości. Podobna sytuacja występuje w przypadku sytuacji, w której samolot F-16 jest zmuszony lądować na lotnisku cywilnym. W takich zdarzeniach uruchamiane są lokalne służby ratownicze, które winny wszcząć określone procedury bezpieczeństwa.

PODSUMOWANIE

Kwestia bezpieczeństwa wykonywania operacji w siłach powietrznych każdego państwa wiąże się z eksploatacją określonych statków powietrznych. Ich rozwiązania konstrukcyjne, zastosowane technologie determinują tworzenie procedur bezpieczeństwa podczas występowania nieprzewidzianych zdarzeń z udziałem samolotów. Zdaniem autorów niniejszego artykułu, działania te w przypadku samolotów F-16 Sił Zbrojnych RP, w których do systemów zasilania awaryjnego wykorzystywane jest paliwo H-70, winny być realizowane dwutorowo i obejmować dodatkowo sytuacje awaryjne na lotniskach, na których brak jest wyspecjalizowanych Zespołów HRT, tj.:

- w bazach wojskowych, na których nie stacjonują samoloty F-16,
- na lotniskach cywilnych.

Nieliczne, ale pojawiające się niebezpieczne zdarzenia świadczą, że problem występuje i wymaga dokładniejszej identyfikacji jeśli chodzi o ograniczenie potencjalnych skutków dla człowieka i otaczającego środowiska.

BIBLIOGRAFIA

1. Aggarwal R., Patel I., Sharma P.B, *Green Propellant: A Study*, "International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology" 2015, Vol. 6, Issue 1 (September), pp. 83-87.
2. Bartoszewicz J., Kiciński M., Nygard A., *Specyfika gospodarki paliwami w bazach lotnictwa wojskowego (BLW)*, W: Sulima Z., Szramowiat K., Sornek K., Rzepoka K. (red.), *Energia i paliwa*, WSTN, Kraków 2016, s. 7-14.
3. Christensen W. D., Martone J. A., *The F-16 Aircraft and Hydrazine – An Industrial Hygiene Perspective*, SAE Technical Paper Series 851971, California (USA) 1985.
4. Christensen W.D., *Hydrazine as a Monopropellant for the F-16 Emergency Power Unit*, The Second Conference of the Environmental Chemistry of Hydrazine Fuels: 15 February 1979.
5. Ciołek Z.J., Demel S., *Hydrazyna – procedury jej przechowywania, wykonywania obsługi na samolotach F-16 oraz zasady postępowania w sytuacjach awaryjnych*, Przegląd Sił Powietrznych, listopad/2008, s. 42-71.
6. F-16 Technical Order 00-105 E-9, 2006.
7. Flight Manual F-16C/D Blocks 50 and 52+. T.O.GR1F-16CJ-1, 15 June 2003.
8. Gniewek A., Trzeciak A.M., *Nanocząsteczki metali przejściowych – synteza i aktywność katalityczna*, „Wiadomości chemiczne” 2009 (63), nr 11-12, s. 953-984.
9. *Hazardous Materials Guide to Fire Protection*, Federal Emergency Management Agency United States Fire Administration, <http://www.d.umn.edu/ehso/hazguide.pdf> [dostęp 22.02.2017].
10. <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr> [dostęp 22.02.2017].
11. *Hydrazine MSDS*. ScienceLab.com, 11.06.2008 [dostęp 22.02.2017].
12. *Hydrazine*, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> [dostęp 22.02.2017].

13. *Hydrazyna: klasyfikacja i oznakowanie*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, <https://www.ciop.pl> [dostęp 23.02.2017].
14. Ignatowicz K., *Uzdatnianie wody kotłowej z zastosowaniem Kotaminy C*, „Ochrona Środowiska” 2004 (26), nr 3, s. 25-27.
15. Jakubowski M., Kupczewska-Dobecka M., *Hydrazyna. Dokumentacja proponowanych dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego*, „Podstawy i Metody Ochrony Środowiska Pracy” 2015, nr 3(85), s. 35-65.
16. Karta charakterystyki substancji/preparatu: hydrazyny wodzian r-r 80% nr cz-476023429, POCH S.A., 05.01.2010.
17. Karta charakterystyki: wodzian hydrazyny 60% nr 048400, Ciech Trading SA, wydanie 8, 13.03.2013.
18. *Karta: Hydrazine*, National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce, <https://cameochemicals.noaa.gov/chris/HDZ.pdf> [dostęp 22.02.2017].
19. Nawrocki J., Biłozor S. (red.), *Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 2000.
20. O'Neil N.J., Smith A., Heckelman P. E. (eds.), *The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*, Royal Society of Chemistry, Cambridge 2013.
21. Pohanish R.P., *Sittig's Handbook of Pesticides and Agricultural Chemicals (Second Edition)*, Elsevier Inc 2015.
22. Pośniak M., Bartoszek D.D., *Analiza i ocean zagrożeń chemicznych w procesie produkcji leków*, CIOP-PIB, Warszawa 2009.
23. *Safety Management System*, Anex 19 International Civil Aviation Organization – ICAO 2013.
24. Satkowski W., Bartoszewicz J., Kiciński M., *Hydrazyna jako paliwo systemu awaryjnego zasilania wielozadaniowych samolotów F-16*, Materiały konferencyjne „Poznań - Lotnictwo dla obronności”, Politechnika Poznańska, Poznań 26.08.2016 r.
25. Satkowski W., *Gospodarka materiałami niebezpiecznymi w bazach lotnictwa wojskowego w zmiennych warunkach działania*, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2016.
26. *Substance information: Hydrazine*, European Chemicals Agency <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.005.560> [dostęp 23.02.2017].
27. Suggs H.J., Luskus L.J., Kilian H.J., Mokry J.W., *Exhaust Gas Composition of the F-16 Emergency Power Unit*, Report SAM-TR-79-2, USAF School of Aerospace Medicine Texas 1979.
28. Szala M., Szymańczyk L., Dziura R., *Wysokoazotowe materiały wybuchowe do zadań specjalnych*, „Biuletyn WAT” 2009, vol. LVIII, nr 3, s. 37-55.
29. Szymański G.M., Misztal W., Orczyk M., Komorski P., *Modelowanie propagacji hałasu podczas startu statku powietrznego*, „Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport” 2016, z. 114, s. 349-358.
30. Toth B., *Hydrazines and Cancer: A Guidebook on the Carcinogenic Activities of Hydrazines, Related Chemicals, and Hydrazine Containing Natural Products*, Harwood Academic Publishers, 2005.
31. Wykaz substancji zaklasyfikowanych jako substancje o działaniu rakotwórczym lub mutagennym w środowisku pracy na podstawie klasyfikacji zharmonizowanej, Instytut Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera w Łodzi, <http://www.imp.lodz.pl/upload/centra/wykaz%20substancji%202015.pdf> [dostęp 23.02.2017].
32. Zboina J. (red.), *Bezpieczeństwo na lądzie, morzu i w powietrzu w XXI wieku*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2014.

Possible threat the use of hydrazine on emergency power F-16 aircraft

The article presents the safety issue bonded to the Polish Air Force F-16 multirole aircraft. The authors pointed out the issue of fuel used for emergency supply system of these aircrafts. The paper emphasized the fact that these aircrafts require special fuel with designation H-70, which is 70% aqueous solution of toxic hydrazine. For this reason, the rescue services of Polish Air Force bases where Polish F-16 are stationed had to be adjusted accordingly. Just as importantly authors noticed that in the event of an emergency landing of this aircraft at different airports can receive difficulties associated with the possible leakage of hydrazine, or its neutralization in the absence of specialized Hydrazine Response Team, which are part of the Rescue Group (Aircraft rescue and firefighting – ARFF).

Autorzy:

dr **Edyta Janeba-Bartoszewicz** – Politechnika Poznańska, Wielkopolskie Samorządowe Centrum Kształcenia Zawodowego i Ustawicznego nr 1 w Poznaniu, edyta.janebabartoszewicz@onet.pl

dr inż. **Marcin Kiciński** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Zakład Systemów Transportowych, marcin.kicinski@put.poznan.pl, www.kicinski.eu